

ANDREA DE FIGUEIREDO GIROLDO

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE B, Cu E Mn EM SOJA
(*Glycine max* (L.) Merrill) CULTIVADA SOBRE
UM LATOSSOLO DE PONTA GROSSA, PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre no Curso
de Pós-Graduação em Agronomia, área de
concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências
Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

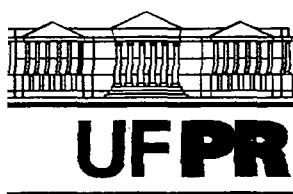
Orientadores:

Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi

Dr. Gedi Jorge Sfredo

CURITIBA

2000




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

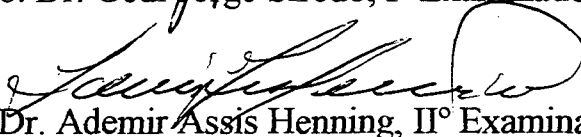
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ANDREA DE FIGUEIREDO GIROLDO**, com o título: **"Efeito da aplicação de B, Cu e Mn em soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivada sobre um Latossolo de Ponta Grossa, Paraná"** para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"A"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 13 de dezembro de 2000.


Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi, Presidente.


Engo. Agro. Dr. Gedi Jorge Sfredo, Iº Examinador.


Engo. Agro. Dr. Ademir Assis Henning, IIº Examinador.

ANDREA DE FIGUEIREDO GIROLDO

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE B, Cu E Mn EM SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)
CULTIVADA SOBRE UM LATOSSOLO DE PONTA GROSSA, PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre no Curso de
Pós-Graduação em Agronomia área de
concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências
Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
Orientadores: Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa
Lucchesi e Dr. Gedi Jorge Sfredo

CURITIBA – PR

2000

ANDREA DE FIGUEIREDO GIROLDO

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE B, Cu E Mn EM SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)
CULTIVADA SOBRE UM LATOSSOLO DE PONTA GROSSA, PARANÁ**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no
Curso de Pós-Graduação em Agronomia área de concentração Ciência do Solo da
Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Corrêa Lucchesi
Setor de Ciências Agrárias, UFPR

Co-Orientador: Eng. Agr. Dr. Gedi Jorge Sfredo
Embrapa – CNPSO

Eng. Agr. Dr. Ademir Assis Henning
Embrapa – CNPSO

Prof. Dr. Vander de Freitas Melo
Setor de Ciências Agrárias, UFPR

Curitiba, 13 de dezembro de 2000.

AGRADECIMENTOS

- Aos orientadores Dr. Luiz A. C. Lucchesi e Dr. Gedí J. Sfredo, os quais confiaram no meu trabalho;
- À Universidade Federal do Paraná;
- À CAPES pela concessão da bolsa;
- À EMBRAPA, em especial o Centro Nacional de Pesquisa de Soja de Londrina-PR;
- À equipe do Laboratório de Análises de Solo e de Tecido Vegetal da Embrapa Soja, em especial ao Moisés de Aquino, Waldemar de Oliveira Neto, Fábio Rogério Ortiz e Jomar Chandoha de Mello, pelas análises químicas realizadas e pelo estágio concedido;
- Ao Rubson Natal Sibaldelli, ao José Zuca Moraes, e sua equipe, pelos trabalhos executados na área experimental;
- Ao Setor de Biometria da Embrapa Soja, em especial ao Pesquisador M. S. José Erivaldo Pereira, pela sua contribuição nas análises estatísticas;
- À Agrocete, pela concessão da área experimental;
- Aos meus pais, A. Ricardo de Figueiredo e Rita Andrzejewski de Figueiredo, e ao Marcelo R. Giroldo, pelo incentivo;
- A todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	
2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE A CULTURA DA SOJA E SUA RELAÇÃO COM OS MICRONUTRIENTES	05
2.2 MICRONUTRIENTES: UMA BREVE HISTÓRIA	09
2.2.1 Boro	12
2.2.1.1 Boro no solo	12
2.2.1.2 Boro na planta	13
2.2.1.3. Respostas à aplicação de B	16
2.2.2 Cobre	18
2.2.2.1 Cobre no solo	18
2.2.2.2 Cobre na planta	19
2.2.2.3 Respostas à aplicação de Cu	21
2.2.3 Manganês	23
2.2.3.1 Manganês no solo	23
2.2.3.2 Manganês na planta	24
2.2.3.3 Respostas à aplicação de Mn	26
2.3 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	
3.1 LOCALIZAÇÃO E REPRESENTATIVIDADE DA ÁREA EXPERIMENTAL	31
3.1.1 Solos e geologia da área experimental	32
3.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	33
3.2.1 Calagem, adubação e os tratamentos	35
3.2.2 O cultivo da área	38
3.3 VARIÁVEIS ESTUDADAS	41
3.3.1 Teores foliares	41
3.3.2 Produtividade e qualidade de grãos	41
3.3.3 Características químicas do solo	42
3.4 METODOLOGIAS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE SOLO, DE TECIDO VEGETAL E DE GRÃOS	43
3.4.1 Análises químicas de solo	43
3.4.2 Análises químicas de folhas e de grãos	44

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1 EXPERIMENTO COM B	
4.1.1 Efeito da aplicação de doses de B na produtividade e na qualidade de grãos	46
4.1.2 Efeito da aplicação de doses de B nos teores foliares e nos grãos de soja	49
4.1.3 Efeito da aplicação de doses de B sobre as características químicas do solo	53
4.1.4 Correlações	54
4.2 EXPERIMENTO COM Cu	
4.2.1 Efeito da aplicação de doses de Cu na produtividade e na qualidade de grãos	56
4.2.2 Efeito da aplicação de doses de Cu nos teores foliares e nos grãos de soja	59
4.2.3 Efeito da aplicação de doses de Cu sobre as características químicas do solo	62
4.2.4 Correlações	63
4.3 EXPERIMENTO COM Mn	
4.3.1 Efeito da aplicação de doses de Mn na produtividade e na qualidade de grãos	65
4.3.2 Efeito da aplicação de doses de Mn nos teores foliares e nos grãos de soja	67
4.3.3 Efeito da aplicação de doses de Mn sobre as características químicas do solo	71
4.3.4 Correlações	72
5 CONCLUSÃO	74
ANEXO	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

RESUMO

EFEITO DA APLICAÇÃO DE B, Cu E Mn EM SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill) CULTIVADA SOBRE UM LATOSSOLO DE PONTA GROSSA, PARANÁ

Andrea de Figueiredo GIROLDO ¹, Luiz Antonio Correa LUCCHESI ², Gedi Jorge SFREDO ³. 1. Aluno Curso Pós-graduação UFPR – Curitiba-PR. 2. Orientador - Departamento de Solos – UFPR – Curitiba-PR. 3. Co-Orientador - Embrapa-CNPSO Londrina-PR.

A incorporação de áreas menos férteis ao sistema produtivo, uso de cultivares mais exigentes e uso de adubos mais concentrados em macronutrientes, tem favorecido a ocorrência de deficiências de micronutrientes na cultura da soja no Paraná. Tais deficiências no entanto, podem nem sempre manifestar-se em sintomas visuais, mas ao invés disso, ocorrer como “fome oculta”, traduzindo-se na redução da produtividade, ou qualidade da produção. Neste contexto, o B, Cu e Mn têm sido comumente referidos como deficientes em solos brasileiros. No entanto, se faz necessária uma melhor compreensão do comportamento destes nutrientes nos solos e plantas para que assim se possa estabelecer níveis de deficiência e toxidez, e se recomendar práticas para adequação de sua disponibilidade às exigências da cultura. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi determinar os efeitos da aplicação de B, Cu e Mn no solo, sobre a produtividade da soja, sua relação com os teores foliares e do solo e seu efeito sobre a qualidade de grãos, em um solo representativo da região de Ponta Grossa, Paraná. Para tanto, foi estabelecido um experimento de campo em um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico Muito Argiloso Suave Ondulado, conduzido sob um delineamento experimental de blocos ao acaso com 18 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram os seguintes: 6 doses de B (0,0; 0,1; 0,3; 0,9; 2,7 e 8,1 kg.ha⁻¹); 6 doses de Cu (0,0; 0,3; 0,9; 2,7; 8,1 e 24,3 kg.ha⁻¹); e 6 doses de Mn (0,0; 1,0; 3,0; 9,0; 27,0 e 81,0 kg.ha⁻¹). As fontes de B, Cu e Mn foram as seguintes: H₃BO₃ (17% B); CuSO₄.H₂O (35% Cu) e MnSO₄.H₂O (30% Mn). O experimento foi implantado em 03 de dezembro de 1998 sob cultivo convencional em área de pastagem nativa. Foram avaliadas a produtividade, peso e qualidade de grãos (teor de proteína), e teores foliares de nutrientes para o início da floração. Tais níveis foram correlacionados com os teores de B, Cu e Mn extraíveis de amostras de solo tomadas de 0-20 cm de profundidade. Os teores iniciais de B e Cu no solo foram suficientes, para a obtenção de produtividades máximas de soja. A aplicação de doses de Mn, mesmo o solo estando originalmente em teores acima do nível crítico preconizado, favoreceu o aumento da produtividade de soja.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, pesquisas com micronutrientes vêm sendo desenvolvidas por algumas universidades, na sua maioria em teses de mestrado, por unidades da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e por instituições estaduais de pesquisa. Nesse contexto, destacam-se como geradoras de trabalhos, envolvendo micronutrientes e a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) até 1997 o Centro de Pesquisa Agropecuária de Cerrado da Embrapa (EMBRAPA CERRADOS), o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP) e as faculdades de Agronomia da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), a Universidade Federal de Viçosa (UFV), e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), bem como a Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), cujas citações estão nos anais dos simpósios intitulados “Enxofre e Micronutrientes na Agricultura Brasileira”, realizado em Londrina, PR, em 1988 (BORKERT & LANTMANN, 1988) e “Micronutrientes na Agricultura” (FERREIRA & CRUZ, 1991), realizado em Jaboticabal, SP, em 1988 (GALRÃO, 1993; BARBOSA FILHO et al. 1990; NOVAIS et al., 1989; PAULA et al., 1991; MURAOKA et al., 1983a, 1983b; BORKERT et al., 1984).

A incorporação de áreas menos férteis ao sistema produtivo e o repetido cultivo destas por inúmeras safras, o uso de cultivares mais exigentes e de adubos concentrados vêm favorecendo o aparecimento de deficiências de micronutrientes em diversas culturas. Embora a exigência das culturas por micronutrientes seja menor, quando comparada aos macronutrientes, as deficiências têm aparecido com

frequência crescente, demandando um aprimoramento dos conhecimentos sobre o seu comportamento em solos e em plantas. Por outro lado, não se sabe até que ponto a chamada “fome oculta”, isto é, a deficiência que promove a redução da produtividade das culturas sem que estas demonstrem sintomas, estaria presente nas áreas hoje sob cultivo.

As conseqüências da deficiência de micronutrientes sobre a produtividade, variam para as diferentes situações de solo, da planta e do sistema de manejo adotado. Os efeitos podem variar de pequenas reduções na produtividade até o total comprometimento da qualidade de produção (valor nutritivo, industrial ou comercial do produto agrícola). Já com relação ao impacto econômico, torna-se difícil estimar as perdas anuais de produtividade, causadas pela insuficiente adubação com micronutrientes, em áreas seriamente afetadas pelo problema, como por exemplo o Zn na região dos cerrados brasileiros. Para casos como este, onde as deficiências de micronutrientes muitas vezes podem passar despercebidas, onde se praticam agricultura avançada e se adotam práticas tecnológicas, é essencial a adoção de programas bem estruturados de análise de solo, correlação, calibração e interpretação, quando se almeja diagnosticar problemas de deficiência e/ou toxidez causados por micronutrientes. Somente assim obter-se-á conhecimentos que permitirão a adoção de medidas preventivas e/ou corretivas, que promoverão a manutenção ou a elevação das produtividades. (Mc Cune et al., 1985¹, citados por BORKERT & LANTMANN, 1988).

Também o cobre (Cu), o manganês (Mn) e o boro (B) são micronutrientes muito importantes para o desenvolvimento das plantas, por participarem de várias reações bioquímicas. Assim sendo, a deficiência destes elementos compromete o

¹ McCune, D. L.; Popenoe, H. Foreword. In: VLEK, P. L. G. ed. Micronutrients in Tropical Food Crop Production. Dordrecht, M. Nijhoff, W. Junk, 1985. 260 p. (Developments in plant and soil sciences, 14).

desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas. Considerando-se o fato das plantas necessitarem quantidades muito pequenas de micronutrientes, os limites entre a deficiência e a toxicidade destes podem estar muito próximos. Portanto, solos que apresentam-se deficientes em B, Cu ou Mn, podem passar a conter níveis tóxicos destes elementos caso aplicações descontroladas sejam efetuadas.

Não se pode ignorar a importância da utilização de fertilizantes na agricultura, principalmente por estes favorecerem a obtenção de maiores produtividades e melhor qualidade da produção. A essencialidade dos micronutrientes foi descoberta há muitos anos: a do boro em 1923 por Warington, a do cobre em 1931 por Sommer; e a do manganês por Bertrand em 1867 (SIQUEIRA et al., 1999). No entanto, o seu uso na adubação é relativamente recente, havendo hoje falta de informação sobre os seus níveis críticos, tanto para deficiências como para toxicidades, em solos e em plantas. Tais informações são indispensáveis para a condução de uma agricultura moderna que exige o uso de corretivos e fertilizantes, em quantidades adequadas, de forma a atender a critérios racionais, e a permitir a obtenção de resultados econômicos positivos, a constante elevação da produtividade das culturas e a preservação dos recursos naturais.

A soja é a oleaginosa mais cultivada no mundo, com produção próximo a 115.200.000 toneladas por ano (USDA, 1992² citado por ARANTES & SOUZA, 1993). O Brasil é o segundo maior produtor (30.904.233 toneladas, na safras de 98/99 segundo o ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO AGROPECUÁRIA DO PARANÁ, 2000) e, juntamente com os EUA e a Argentina participa com 80% da produção e 90% da comercialização mundial (ARANTES & SOUZA, 1993). Com o uso intensivo do solo para a produção da soja, mesmo com a utilização de técnicas

² USDA. World Oilseed Situation and Market Highlights. Washington, D.C., Foreign Agriculture Service, 1992.

agrícolas modernas, tem-se observado o surgimento de problemas atribuídos à contínua extração de micronutrientes do solo pelas sucessivas colheitas, ao processo erosivo, à degradação da estrutura do solo, à incorreta implementação de práticas para a correção da acidez excessiva dos solos, e ao decréscimo do teor de matéria orgânica, resultando em produtividades irregulares.

A produtividade média brasileira, na safra de 99/00, foi de 2.375 kg.ha⁻¹ (ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO AGROPECUÁRIA DO PARANÁ, 2000). Considerando-se que a soja é uma cultura com potencial de produção de até 4.000 kg.ha⁻¹, e a importância da adubação na qualidade de produção, este trabalho teve como objetivo determinar os efeitos da aplicação de B, Cu e Mn no solo, sobre a produtividade da cultura da soja, sua relação com os teores foliares e do solo, e seu efeito sobre a qualidade de grãos produzidos. Objetivou-se, também demonstrar a importância de uma adubação equilibrada e os efeitos negativos da falta ou excesso destes micronutrientes.

As hipóteses formuladas para este trabalho foram: 1. Com o uso contínuo do solo, sem a reposição adequada, podem ocorrer deficiências de B, Cu e Mn; e 2. A aplicação de doses elevadas de B, Cu e Mn, pode ocasionar toxicidade às plantas de soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE A CULTURA DA SOJA E SUA RELAÇÃO COM OS MICRONUTRIENTES

No Brasil, até meados da década de 1960, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill), não tinha a mesma importância econômica de culturas como a cana-de-açúcar, o algodão, o milho, o arroz, o café, a laranja e o feijão. No entanto, a partir de então, a produção de soja teve um crescimento extraordinário no País, influenciando até mesmo no cenário internacional, passando o Brasil de uma participação de 3,6% da produção mundial, em 1970, para 18,7% em 1980. E ainda, em apenas 11 anos, o País passou de terceiro para segundo produtor mundial, só perdendo para os Estados Unidos da América (ARANTES & SOUZA, 1993).

A área cultivada de soja, no Brasil, na safra de 1998/99 foi de 12.900.500 ha, possuindo o Paraná a segunda maior área (2.763.600 ha) logo atrás do Rio Grande do Sul (Conab¹, citado por EMBRAPA, 1999a). Na safra de 1999/00, apesar da área paranaense ter aumentado 2,4% (2.844.847 ha), houve um decréscimo de 7,5% na produção total, resultado da redução de 9,6% na sua produtividade, devido a condições climáticas desfavoráveis (2.787 kg.ha⁻¹ em 1998/99 e 2.518 kg.ha⁻¹ na safra de 1999/00). Porém, na região de Ponta Grossa houve aumentos de 3,1% na área plantada com soja (244.600 ha em 1998/99 para 252.080 ha em 1999/00), de 6,1% na produção e de 3% na produtividade, apresentando-se médias na safra de

¹ CONAB – 97/98. Quinto Levantamento / jul-98 e CONAB – 98/99. Quinto Levantamento jul / 99.

1998/99 de 2.817 kg.ha⁻¹ e de 2.900 kg.ha⁻¹ em 1999/00 (ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO AGROPECUÁRIA DO PARANÁ, 2000).

O aumento progressivo da produção de soja, fruto do uso intensivo de técnicas agrícolas modernas, vem promovendo a retirada crescente de micronutrientes do solo. A não reposição adequada destes nutrientes, associado à má correção da acidez e ao manejo inadequado do solo, tem promovido decréscimo acentuado no teor de matéria orgânica, alterando, provavelmente a disponibilidade de micronutrientes essenciais à sua nutrição (HENNING et al., 1998).

Os solos do Estado do Paraná originalmente apresentavam-se bem supridos em micronutrientes essenciais. Assim, desde a introdução da cultura da soja, no início da década de 1970, não se recomendava micronutrientes para aquele estado na adubação. Somente hoje, após sucessivos anos de extração desses nutrientes pelas crescentes produtividades, é que se tem observado uma maior frequência na ocorrência de deficiências (SFREDO et al., 1996).

A qualidade de produção da soja, onde leva-se em consideração o teor e a qualidade da proteína, para consumo humano ou animal, para às indústrias de processamento, e para o preparo de alimentos à base de soja, são características basicamente ligadas ao controle genético da planta, porém, a expressão das mesmas, depende de vários fatores como a adubação e a nutrição mineral da planta, doenças, pragas, clima, etc. (SFREDO & PANIZZI, 1994).

A absorção de nutrientes, por uma determinada espécie vegetal, é influenciada por diversos fatores. Dentre eles destacam-se as condições climáticas, tais como a ocorrência de chuvas e a temperatura, as diferenças genéticas entre cultivares de uma mesma espécie, o teor de nutrientes do solo, e os diversos tratos culturais empregados. Alguns trabalhos apresentam as concentrações médias de

nutrientes nos grãos e nos restos culturais da soja, como os dados apresentados na Tabela 2.1. Com relação aos micronutrientes, é importante observar as quantidades absorvidas e, portanto, necessárias para a adequada manutenção de seus níveis para a cultura (EMBRAPA, 1999a).

Tabela 2.1. Concentração média de nutrientes na cultura da soja¹.

Parte da Planta	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cl	Mo	Fe	Mn	Zn	Cu
	..... g.kg ⁻¹ .....						..... mg.kg ⁻¹						
Grãos	51,0	4,4	16,6	3,0	2,0	5,4	20	237	5	70	30	40	10
Restos Culturais	32,0	2,4	14,9	9,2	4,7	10,0	57	278	2	390	100	21	16

¹ EMBRAPA, 1999a.

As plantas de soja possuem porte ereto e hábito de crescimento determinado ou indeterminado. Sua altura é variável (45 a 120 cm), dependendo da cultivar e da época de semeadura. A espécie possui ciclo vegetativo anual que pode variar de 90 a 160 dias, e que foi detalhadamente descrito por Fehr & Caviness² (1977), e citado por CÂMARA (1998), com a elaboração de uma escala fenológica, hoje internacionalmente utilizada, e que subdivide os estádios fenológicos em fase vegetativa e fase reprodutiva (Tabela 2.2).

² FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of Soybean development. Ames: Iowa State University, Cooperative Extension Service. 1977. 11 p. (Special Report, 80).

Tabela 2.2. Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da soja ¹.

Símbolo	Denominação	Duração (dias)
VE	Emergência	Semeadura - VE = 10
VC	Cotilédone desenvolvido	VE - VC = 5
V ₁	Primeiro nó maduro	VC - V ₁ = 5
V ₂	Segundo nó maduro	V ₁ - V ₂ = 5
V ₃	Terceiro nó maduro	V ₂ - V ₃ = 5
V _(n)	"Enésimo" nó maduro	Acima de V ₆ = 3
R ₁	Início de florescimento	
R ₂	Florescimento pleno	R ₁ - R ₂ = 0 - 3
R ₃	Início da frutificação	R ₂ - R ₃ = 10
R ₄	Vagem formada	R ₃ - R ₄ = 9
R ₅	Início da formação de semente ou início da granação	R ₄ - R ₅ = 9
R ₆	Granação plena ou semente desenvolvida	R ₅ - R ₆ = 15
R ₇	Início da maturação ou maturação fisiológica	R ₆ - R ₇ = 18
R ₈	Maturação plena ou maturação a campo	R ₇ - R ₈ = 9

¹ Fonte: Fehr & Caviness (1977), adaptada por Câmara, 1998.

2.2 MICRONUTRIENTES: UMA BREVE HISTÓRIA

Na segunda metade do presente século, o mundo viveu a euforia das altas produtividades, resultantes da aplicação de avanços científicos e tecnológicos propostos como “pacotes” de produção, da denominada “Revolução Verde”. Esta tinha por princípio o direcionamento da agricultura à produtividade máxima das culturas, mediante o uso intensivo das terras pela monocultura extensiva, mediante a aplicação de fertilizantes e pesticidas, o melhoramento genético e em algumas regiões mediante a irrigação (SIQUEIRA et al., 1999).

Do cultivo intensivo pode resultar a degradação do solo, a diminuição de sua fertilidade e, conseqüentemente, da produtividade das culturas. Já a utilização de grandes quantidades de fertilizantes é economicamente e ambientalmente indesejável, exigindo portanto que se conheça a eficiência da adubação no alcance de rendimentos máximos.

Durante a “Revolução Verde”, a produtividade das culturas era conseguida, aumentando-se a quantidade de fertilizantes utilizada, controlando-se efetivamente plantas daninhas, doenças e insetos, e melhorando-se a irrigação e a conservação da umidade do solo. Atualmente, uma das alternativas tecnológicas para aumentar a produtividade está baseada no adequado suprimento de nutrientes à planta (Borlaug & Dowsell, 1993³, citados por BALIGAR & FAGERIA, 1999). Para tanto, deve-se fazer o uso eficiente de nutrientes (UEN), que é afetado por fatores ligados ao solo, à planta, aos fertilizantes utilizados, e a outros fatores ambientais (BALIGAR & FAGERIA, 1999).

³ BORLAUG, N. E.; DOWSWELL, C. E. Fertilizer: to nourish infertile soil that feeds a fertile population that crowds a fragile world. *Fertilizer News*, 38: p. 11-20, 1993.

Os elementos minerais, essenciais para as plantas, são classificados em: macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), assim chamados devido às grandes concentrações presentes na matéria seca vegetal e; em micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), e zinco (Zn), por apresentarem-se em concentrações menores, apesar de possuírem igual importância. O cobalto (Co), o sódio (Na), o níquel (Ni), o silício (Si) e o vanádio (Va) também têm sido considerados micronutrientes essenciais para algumas plantas (TISDALE et al., 1993).

Estudos realizados em diferentes regiões do Brasil, têm demonstrado deficiência ou toxicidade aguda em plantas, inclusive com sintomas visuais, para vários elementos presentes no solo. Destes, destacam-se o molibdênio (Mo), o cobalto (Co), o zinco (Zn), o cobre (Cu), o manganês (Mn) e o boro (B) como os micronutrientes mais deficientes, principalmente nos solos de Cerrado. Entretanto, hoje, mesmo em regiões tradicionais de cultivo (como o Sul do Brasil) onde os micronutrientes não apresentavam problemas, já foram detectadas deficiências inclusive para Mo e Co (HENNING et al., 1998).

Os micronutrientes são absorvidos da solução do solo, pelas plantas, principalmente na forma iônica. Após a absorção, ocorre um decréscimo na sua concentração, que por sua vez, tende a ser novamente elevada por meio da liberação de íons do complexo de troca, da solubilização de minerais cristalinos e da decomposição da matéria orgânica do solo. Também, quando se adiciona fertilizantes ao solo, ocorre o aumento da concentração de íons na solução provocando reações que levam a um novo equilíbrio. Nesse caso, se não houver absorção pela plantas dos nutrientes adicionados, ocorrerá reações de precipitação,

adsorção e/ou absorção por microorganismos, de modo a também permitir que o equilíbrio seja alcançado. Portanto, a disponibilidade dos micronutrientes , pode ser afetada por diversas reações que ocorrem no solo induzidas pelo pH, potencial de óxido-redução, teor de matéria orgânica e de agentes quelantes, pelo tipo do material de origem presente, além de ser influenciada pela ação das raízes e pelas relações solo-planta, e interações com outros elementos ali presentes (BATAGLIA, 1988).

2.2.1 Boro

O B é essencial para a germinação dos grãos de pólen, para o crescimento do tubo polínico, e para a formação das sementes e das paredes celulares. O B forma complexos do tipo açúcar/borato, que estão relacionados com a translocação de açúcares, sendo também importantes para a formação das proteínas.

De acordo com MALAVOLTA (1997), as plantas necessitam de B para o crescimento meristemático e para o metabolismo dos carboidratos, sendo que sua presença evita a formação de fenóis e de calose. O B participa do funcionamento das membranas celulares e, com sua carência, ocorre o acúmulo do fitohormônio AIA que, em excesso inibe o crescimento vegetal. O B pode também ter um papel importante na nodulação, segundo Rushel et al. (1966)⁴, citados por BORKERT & LANTMANN (1988).

2.2.1.1 Boro no solo

Segundo MENGEL & KIRKBY (1987), o teor de B total no solo varia de 20 a 200 mg de B .kg⁻¹ de solo, dos quais 0,4 a 5 mg de B .kg⁻¹ de solo podem ser considerados como seus teores disponíveis. Os teores de B variam acentuadamente, em função do tipo de minerais presentes no solo, e dos teores de matéria orgânica (FERREIRA & CRUZ, 1991).

⁴ RUSHEL, A. P.; BRITTO, D. P. P. de SOUZA; DÖBEREINER, J. Fixação Simbiótica de Nitrogênio Atmosférico em Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) II – Influência do Mg, do B, do Mo e da Calagem. Pesq. Agropecuária Brasileira. 1: 141-145, 1966.

A matéria orgânica é uma importante fonte de B para as plantas. Em períodos quentes e secos, quando a decomposição da matéria orgânica diminui na superfície do solo, podem ocorrer deficiências deste nutriente. Em períodos frios, a decomposição da matéria orgânica também diminui, reduzindo a taxa de mineralização de B, que por sua vez afeta muitas das culturas de inverno. Além do mais, os períodos de seca restringem o crescimento das raízes, fazendo com que a planta explore um volume muito menor de solo para a obtenção dos nutrientes essenciais, inclusive o B. A faixa de pH ou de disponibilidade de B está entre pH 5,0 e 7,0. Solos de textura grosseira (arenosos), quando compostos principalmente por quartzo, são, em geral, pobres em minerais que contêm B. O B é um elemento móvel no solo estando portanto sujeito à lixiviação (LOPES et al., 1999).

2.2.1.2 Boro na planta

O B é um elemento muito pouco móvel na planta. É absorvido na forma de H_3BO_3 e seu transporte das raízes até a parte aérea se dá de modo passivo pela corrente transpiratória, sob a forma inorgânica ou orgânica complexada com açúcares (açúcar/borato). Admite-se, de modo geral, que o B seja transportado somente via xilema, sendo, pois, praticamente imóvel quando no floema. A falta de redistribuição ou a redistribuição insuficiente, para atender a contínua demanda das plantas, tem como consequência o aparecimento de sintomas de deficiência que ocorrem primeiramente em órgãos mais jovens e em regiões de crescimento. Desta forma, a prevenção ou correção de deficiência por B deve ser feita,

preferencialmente, através do seu fornecimento por via radicular (MALAVOLTA et al., 1997). Segundo FERREIRA & CRUZ (1991), o teor de B nas plantas varia de 10 a 100 mg de B .kg⁻¹ de matéria seca (M.S.).

Os sintomas de deficiência por B, traduzem-se pelo aparecimento de folhas pequenas com clorose irregular ou sem clorose, de formas bizarras ou deformadas, mais grossas e quebradiças, com nervuras suberificadas (cortiça) e salientes, às vezes apresentando tons de vermelho ou roxo. As raízes podem apresentar-se escuras, com as pontas engrossadas que, na seqüência, podem se tornar necróticas e ramificadas. Quando sob deficiência de B, o florescimento pode não ocorrer e, em havendo frutificação estes serão deformados apresentando lesões externas e internas, aspecto de cortiça na casca e deformação devido à má polinização. Já, como sintomas de toxidez induzidos por B, tem-se clorose reticulada nas folhas, associada à queima de suas margens (MALAVOLTA et al., 1997).

Os teores de B, encontrados nos tecidos vegetais e relacionados à sua deficiência ou toxidez, são muito próximos nas plantas e, conseqüentemente, o uso de fertilizantes contendo boro deve ser feito com muito cuidado. A toxidez pode ser provocada, pela excessiva dosagem do elemento na fertilização, ou ainda induzida pela evaporação da água de irrigação que contenha uma apreciável quantidade do elemento. A correção da acidez do solo tem a propriedade de diminuir a disponibilidade de boro do solo e, conseqüentemente, de minimizar seu efeito tóxico (Marschner, 1986⁵ citado por ARANTES & SOUZA, 1993). Segundo TISDALE et al. (1993), a menor disponibilidade de B ocorre entre pH 6,3 a 6,5, causada principalmente pela adsorção de B por Al(OH)₃ precipitado, com a máxima adsorção

⁵ MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press, 1986, 674 p.

ocorrendo em torno de pH 7,0. Porém, nem sempre, essa adsorção causa a deficiência de B, pois, a calagem visando o aumento de pH, também aumenta a decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, a liberação de B. A presença de Ca^{+2} na solução do solo, também pode restringir a disponibilidade de B, devido a uma relação antagônica existente entre esses dois nutrientes (TISDALE et al., 1993).

Segundo MALAVOLTA et al. (1997), a tolerância das plantas, a altas concentrações de B é relativa, parecendo depender da velocidade do seu transporte das raízes para a parte aérea. A ocorrência de sintomas de excesso, coincide com as regiões da folha onde há maior transpiração, isto é, com a saída de água da planta, o que acarreta um aumento na concentração local deste elemento. Em geral, nas regiões da folha, onde não aparecem anormalidades visíveis, o teor não chega a 100 mg de B .kg⁻¹ de M.S. Já onde ocorre toxidez, os teores chegam a valores que variam de 100 a 1.500 mg de B .kg⁻¹ de M.S. (clorose malhada) e passa de 1.500 mg de B .kg⁻¹ de M.S. nas áreas necrosadas.

Segundo MALAVOLTA (1980), o B influencia a atividade de componentes específicos da membrana celular, resultando no aumento da capacidade da raiz em absorver P, Cl e K. Porém, Kabata-Pendias & Pendias (1985) ⁶ citados por FERREIRA & CRUZ (1991), afirma existir uma interação antagônica entre B e K, ou seja, na presença de um elemento há diminuição da absorção do outro.

⁶ KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace Elements in Soils and Plants. 3 ed. Boca Raton, CRC Press, 1985. 315p.

2.2.1.3 Respostas à aplicação de B

A soja é considerada como uma cultura de baixa resposta à aplicação de B (LOPES et al., 1999). Por outro lado, TISDALE et al. (1993), classifica a soja como uma cultura sensível a toxidez de B, ou seja, mesmo em concentrações suficientes, o B pode ser tóxico para a cultura. O B pode ser aplicado no solo a lanço ou em faixas ou, ainda, ser aplicado nas folhas como pulverização ou na forma de pó. A aplicação, via solo, no caso de culturas responsivas, pode atingir até 3 kg de B .ha⁻¹ e para culturas com média ou baixa resposta, como a soja, 0,5 a 1,0 kg de B .ha⁻¹ (LOPES et al., 1999).

Em trabalho, conduzido em casa de vegetação, Galvão et al. (1984)⁷, citados por BORKERT & LANTMANN (1988), identificaram deficiências nutricionais atribuídas ao B em dez solos de várzea representativos das principais bacias hidrográficas da região dos cerrados brasileiros. Em cinco destes solos (gley pouco húmico, areia quartzosa hidromórfica, orgânico e duas lateritas hidromórficas), a produção de matéria seca de soja aumentou significativamente com a adição de B (0, 4, 8, 12 e 16 kg.ha⁻¹). Já a massa dos nódulos somente aumentou numa laterita hidromórfica, sendo que o seu número aumentou para dois solos (laterita hidromórfica e areia quartzosa hidromórfica), tendo diminuído no solo gley pouco húmico, onde não houve diminuição da produção de matéria seca. No que concerne a doses, os autores observaram efeitos deletérios na produtividade de grãos, já a partir da dose de 4 kg de B.ha⁻¹, sendo que a dose de 16 kg causou um decréscimo de 838 kg de grãos.ha⁻¹ em relação à testemunha que não recebeu B. Neste caso, a

⁷ GALVÃO, E. Z.; SOUZA, D. M. G.; PERES, J. R. R. Caracterização de Deficiências Nutricionais em Solos de Várzea da Região dos Cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19(9): 1091-101, set., 1984

redução na produção de grãos foi acompanhada por aumentos progressivos da concentração de B na folha. Mesmo na primeira dose de B (4 kg.ha^{-1}), os valores atingidos ($55 \text{ mg de B .kg}^{-1}$ de M.S.), foram considerados altos pelos autores, que classificaram como excessivo o valor de $136 \text{ mg de B .kg}^{-1}$ de M.S. obtido com a máxima dose.

2.2.2 Cobre

Segundo MALAVOLTA et al. (1997), entre as principais funções do Cu, está a sua participação na fotossíntese, com cerca de 70% do Cu das folhas presente nos cloroplastos como proteínas complexas, a participação em enzimas e, na fixação simbiótica de N_2 em leguminosas. Os mesmos autores, tentam duas possíveis explicações para o Cu influenciar a fixação simbiótica de N_2 em leguminosas: em presença de Cu há maior retenção de Fe nos nódulos e menor transporte para a parte aérea, o que aumenta a produção de leghemoglobina e, por isso, a fixação do N_2 . Quando há deficiência, cai a atividade da polifenoloxidase, acumulando-se difenóis, com menor produção de melaninas, havendo inibição dos rizóbios e, conseqüentemente, há menor nodulação.

2.2.2.1 Cobre no solo

O cobre se apresenta no solo, quase que exclusivamente, na forma de cátion divalente. Está presente em minerais primários e secundários, bem como ligado a compostos orgânicos, a colóides do solo na forma de cátion trocável ou como constituinte da solução do solo. A proporção de cobre complexado pela matéria orgânica na solução do solo chega a atingir 98%. Diante disso, essa forma de Cu tem papel relevante na regularização da sua mobilidade e disponibilidade na solução do solo. A disponibilidade do cobre é afetada pela variação da acidez do solo. Aumentando-se o pH do solo, diminui-se os teores de Cu em solução, devido à forte

adsorção à fase sólida (MENGEL & KIRKBY, 1987). Portanto, no caso de se corrigir a acidez do solo, pode-se proporcionar um aumento da CTC dependente de pH, e a adsorção de Cu na superfície dos colóides podendo-se, assim, estar contribuindo para a diminuição de sua disponibilidade.

O Cu é absorvido da solução do solo como Cu^{+2} e como quelatos solúveis. No processo de absorção ativa, há competição entre Cu e Zn pelos mesmos sítios do carregador (MALAVOLTA et al., 1997). Bowen (1969)⁸, citado por MENGEL & KIRKBY (1987), afirmou existir evidências de que o Cu inibe a absorção do Zn e vice-versa. Em condições de pouca aeração, podem ocorrer reações que promovem a redução do Cu para a sua forma metálica, possivelmente diminuindo sua disponibilidade (BATAGLIA, 1988).

Segundo TISDALE et al. (1993), as concentrações totais de Cu no solo variam de 1 a 40 mg de Cu .kg⁻¹ de solo, estando os teores, geralmente, em torno de 9 mg de Cu .kg⁻¹ de solo, e entre 1 a 2 mg de Cu .kg⁻¹ em solos deficientes.

2.2.2.2 Cobre na Planta

Na planta, o cobre está presente em várias proteínas e participa de inúmeras enzimas, atuando, devido à esta participação, em praticamente todas as vias metabólicas do vegetal, especialmente no metabolismo de carboidratos, do nitrogênio e na síntese de lignina (Bussler, 1981 e Walker & Webb, 1981⁹, citados por FERREIRA & CRUZ, 1991). Segundo MENGEL & KIRKBY (1987), os teores de

⁸ BOWEN, J. F. Adsorption of Copper, Zinc and Manganese by Sugar Cane Tissue. *Plant Physiol.* 44. 255-261. 1969.

⁹ BUSSLER, W. Physiological functions and utilization of Cooper. In: LONERAGAN, J. F.; ROBSON, A. D.; GRAHAM, R. D., ed. *Copper in soils and plants*. Sidney, Academic Press, 1981. p. 213-34.

WALKER, C. D. & WEBB, J. Copper in plants: forms and behavior. In: LONERAGAN, J. F.; ROBSON, A. D.; GRAHAM, R. D., ed. *Copper in soils and plants*. Sidney, Academic Press, 1981. p. 189-212.

Cu na matéria seca vegetal ocorrem em teores que variam de 2 a 20 mg de Cu .kg⁻¹ de M.S., raramente excedendo a 10 mg de Cu .kg⁻¹ de M.S.

A mobilidade do Cu em vegetais é restrita, podendo no entanto ser translocado das folhas mais velhas para as mais novas, apresentando-se tanto no xilema quanto no floema compondo substâncias orgânicas aniônicas, provavelmente quelatizado por aminoácidos. A mobilidade do Cu depende do seu teor no tecido. Em plantas bem nutridas, transloca-se com facilidade até os grãos, enquanto nas deficientes tal movimento é mais difícil. De um modo geral, os órgãos mais novos são os primeiros a apresentar sintomas de deficiência de Cu. No entanto, a toxidez causada por este nutriente se manifesta primeiro nas raízes, que escurecem e perdem elementos previamente absorvidos, o que é um indicativo do comprometimento da permeabilidade das membranas celulares. Paralelamente a isso, na parte aérea, as folhas mais velhas são as primeiras a mostrar sintomas de excesso de Cu. Como sintoma de excesso, pode-se observar a indução à deficiência de Fe (MALAVOLTA et al., 1997).

Ainda segundo MALAVOLTA et al. (1997), os sintomas foliares visuais de deficiência traduzem-se no aparecimento de folhas inicialmente verde-escuras, que tornam-se cloróticas (pontas e margens), passando então o vegetal a apresentar morte descendente de múltiplos ramos e gemas.

O Cu, mesmo em concentrações relativamente baixas no solo, pode induzir vegetais a apresentar sintomas de toxicidade, havendo no entanto um limite estreito entre a necessidade e o excesso, o que tem dificultado o reconhecimento de sintomas de deficiência e toxicidade em plantas, bem como a proposição de medidas para o seu controle. É possível também que, em muitos casos, deficiências de Cu

promovam reduções da produtividade vegetal sem que, no entanto, o vegetal apresente qualquer sintoma típico que seja observável externamente, ao que atribui-se o nome de “deficiência oculta”. É possível que tal fenômeno ocorra, com uma frequência muito maior do que geralmente se estima (Sillanpää, 1972¹⁰, citado por FERREIRA & CRUZ, 1991).

2.2.2.3 Respostas à aplicação de Cu

A probabilidade de resposta da soja à aplicação de Cu em condições de solo e de clima favoráveis à indução de deficiência é baixa (MARINHO, 1988). Tanto a aplicação de Cu via solo ou via foliar são efetivas, porém, é mais comum a aplicação via solo, com quantidades que variam de 0,67 a 22 kg de Cu .ha⁻¹ (TISDALE et al., 1993).

Galvão et al., 1984¹¹, citados por BORKERT & LANTMANN (1988), estudaram, em casa de vegetação, os efeitos produzidos pela aplicação de calcário, S, Cu, Zn, B e Mo em dez solos de várzea da região de cerrados, sobre a produtividade da cultura da soja, cuja magnitude das respostas obedeceu à seguinte ordem, conforme os nutrientes aplicados: B > S > Cu > Zn. Galvão, 1984¹², citado pelos mesmos autores, estudou o efeito da aplicação dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Co, em cultivos conduzidos na seguinte sequência: arroz, milho, soja, milho e milho, sob condições de campo, em latossolo vermelho-escuro originalmente

¹⁰ SILLANPÄÄ, M. *Los Oligoelementos en los Suelos y en la Agricultura*. Roma, FAO, 1972. 71 p. (Boletim de Suelos, 17).

¹¹ GALRÃO, E. Z., SOUZA, D. M. G. & PERES, J. R. R. Caracterização de Deficiências Nutricionais em Solos de Várzea da Região dos Cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19(9): 1091-101, set. ,1984.

¹² GALRÃO, E. Efeito de Micronutrientes e do Cobalto na Produção e Composição Química do Arroz, Milho e Soja em Solo de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 8:111-6, 1984.

sob vegetação de cerrado. Foram observados efeitos dos tratamentos com Cu, Fe e Zn apenas nos teores foliares das plantas. Não tendo sido observado incremento de produtividade.

GALRÃO (1999), observou, em experimentos conduzidos por três anos agrícolas (1995/96, 1996/97 e 1997/98), sobre um latossolo vermelho-amarelo fase Cerrado, que as melhores produtividades de grãos de soja foram obtidas apenas no segundo e terceiro cultivos com doses de 1,2 e 2,4 kg de Cu .ha⁻¹, originalmente aplicadas a lanço por ocasião do primeiro cultivo. Neste experimento, o autor obteve como níveis críticos para o Cu, extraído do solo com HCl 0,1 M, Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA a pH 7,3, respectivamente os seguintes valores: 0,6, 0,5, 0,5 e 0,6 mg de Cu .dm⁻³ de solo. Já na folha o nível crítico de Cu sugerido pelo referido autor foi de 3,9 mg de Cu .kg⁻¹ de M.S.

2.2.3 Manganês

Dentre as funções do Mn na planta, a mais conhecida é a sua participação na fotossíntese, onde participa na liberação fotoquímica do O₂ na reação de Hill efetuada pelos cloroplastos. O Mn também é importante na redução do nitrato, devido à sua presença na redutase do nitrito. Dentre todos os micronutrientes, parece ser este o mais importante para o desenvolvimento de resistência a doenças fúngicas das raízes e das folhas. Isto se deve à sua participação na síntese de lignina e de fenóis, que são considerados defesas primárias contra infecções por fungos, na inibição da enzima aminopeptidase que hidrolisa proteínas que liberam aminoácidos essenciais para o crescimento fúngico, na inibição da exoenzima (metilesterase da pectina) de fungos, na redução da fotossíntese, diminuindo a exsudação de carboidratos pelas raízes (fonte de alimento para a microflora do solo competidora com os patógenos), além de ter participação indireta na inibição de fungos, pois a sua exigência por fungo é cem vezes menor que a das plantas, o que faz com que concentrações adequadas para as plantas sejam tóxicas para patógenos (MALAVOLTA et al., 1997).

2.2.3.1. Manganês no solo

Os teores totais de Mn no solo variam entre 20 a 3000 mg de Mn .kg⁻¹ de solo, estando geralmente em torno de 600 mg de Mn .kg⁻¹ de solo (TISDALE et al., 1993).

O Mn ocorre no solo como Mn^{+2} , ou nas formas trivalente e tetravalente quando presente em óxidos. O Mn^{+2} é adsorvido a minerais de argila e matéria orgânica sendo esta a forma mais importante para o abastecimento da solução do solo. Como o nível de Mn divalente no solo depende das reações de oxi-redução, todos os fatores que afetam estas reações têm influência na disponibilidade deste nutriente. Assim, em condições de inundação prolongada e portanto ausência de O_2 , há um aumento da disponibilidade de Mn no solo, em função da redução deste elemento, e provavelmente, há um aumento da possibilidade de ocorrer problemas de toxicidade. Além disso, a disponibilidade do manganês aumenta com a acidificação dos solos pois, com a correção da acidez excessiva do solo ocorre a formação de complexos com a matéria orgânica do solo (MENGEL & KIRKBY, 1987). Segundo TISDALE et al. (1993), com a calagem, há diminuição da disponibilidade de Mn^{+2} , devido à precipitação deste como MnO_2 .

A disponibilidade de Mn, também pode ser influenciada por reações com a matéria orgânica, diminuindo, devido à formação de compostos quelatizados de Mn^{+2} (TISDALE et al., 1993).

2.2.3.2 Manganês na planta

O teor crítico de Mn para a maioria das plantas é da ordem de 10 a 20 mg de Mn $.kg^{-1}$ de M. S. (DECHEN et al., 1991). Segundo MALAVOLTA et al. (1997), o Mn é absorvido pelos vegetais predominantemente como Mn^{+2} , forma que apresenta propriedades químicas semelhantes às de metais alcalinos-ferrosos, tais como o

Ca^{+2} e o Mg^{+2} , e de metais pesados, como o Fe e o Zn, podendo esses cátions inibir sua absorção e transporte nas plantas. Por sua vez, o excesso de Mn^{+2} pode também inibir a absorção de Ca, Mg, Fe e Zn. O transporte do Mn no xilema se faz na forma catiônica, havendo de modo geral uma pequena redistribuição do Mn absorvido e, portanto, o aparecimento de sintomas de sua carência e/ou excesso que se manifestam nas folhas mais novas. O K e o Mn, e o Ca e o Mn são elementos considerados de interação antagônica segundo Kabata-Pendias & Pendias (1985)¹³, citados por FERREIRA & CRUZ (1991), portanto o excesso de um pode prejudicar a absorção de outro.

O sintoma, relacionado à deficiência de Mn em plantas, é a clorose internerval nas folhas novas (rede verde grossa das nervuras sobre fundo amarelado), seguida de branqueamento. Já os sintomas de excesso de Mn são: a deficiência de Fe induzida, a ocorrência de manchas necróticas, o encarquilhamento de folhas largas e a menor nodulação das leguminosas (MALAVOLTA et al., 1997).

A toxidez de manganês, juntamente com a de alumínio, são fatores limitantes ao desenvolvimento da soja em solos ácidos ($\text{pH} < 5,5$). A toxidez por Mn pode ocorrer, também, em solos mal drenados ou compactados, devido às condições de aeração deficiente (MENDEL & KIRKBY, 1987). Deve-se, portanto, o excesso de Mn, também ser considerado como critério para a determinação de dosagem de calcário para a soja (FRANCO & DOBEREINER, 1971). Segundo ROSOLEM (1980), a toxicidade induzida por Mn, pode ser observada em solos com pH inferior a 5,0, cujos sintomas são assim interpretados quando da ocorrência de manchas foliares

¹³ KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace Elements in Soils and Plants. 3 ed. Boca Raton, CRC Press, 1985. 315p.

que posteriormente secam, alcançando os tecidos concentrações da ordem de 300 mg de Mn .kg⁻¹, ou mesmo altas relações Mn/Fe.

ROSOLEM (1980), cita que a deficiência de Mn na soja pode ocorrer em solos com muita matéria orgânica e em solos com pH muito elevado (superior a 6,3). Em trabalho com soja, cultivada sobre um solo ácido, FRANCO & DOBEREINER (1971), verificaram a ocorrência de efeitos tóxicos do Mn sobre a nodulação e fixação simbiótica do N (soja-rizóbio), onde o *Bradyrhizobium* foi mais sensível ao excesso de manganês.

2.2.3.3 Respostas à aplicação de Mn

Labanaukas (1966)¹⁴, citado por BORKERT & LANTMANN (1988), afirmou que a soja é uma cultura de alta probabilidade de resposta à aplicação de Mn em condições de solo e clima favoráveis à indução de deficiência. Segundo TISDALE et al. (1993), a correção da deficiência de Mn pode ser feita através da aplicação via solo e/ou via foliar, variando de 1,12 a 28 kg de Mn .ha⁻¹, dependendo da necessidade e da forma da aplicação.

ABREU et al. (1995), ao desenvolverem experimento em casa de vegetação com soja, em latossolo vermelho-amarelo, submetidos a quatro doses de Mn, fornecidos como sulfato e óxido (5, 10, 20 e 40 mg de Mn .dm⁻³ de solo), observaram sintomas de deficiência visual tanto nas parcelas que não receberam Mn (Testemunha), quanto naquelas fertilizadas com 5 e 10 mg de Mn .dm⁻³ de solo. Os

¹⁴ LABANAUKAS, C. K. Manganese. In: CHAPMAN, H. D., ed. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. p. 264-85.

sintomas, no entanto, apresentaram-se mais amenos nestes tratamentos. As plantas com sintomas visuais de deficiência tenderam a produzir menos massa seca e propiciaram menores concentrações de Mn na parte aérea.

Em outro experimento, conduzido em casa de vegetação, NOVAIS et al. (1989), atribuíram os sintomas de deficiência de Mn em soja à baixa disponibilidade deste elemento no solo que estaria relacionada ao seu pH de 6,7. Neste caso, as plantas com sintomas visuais apresentaram teores de Mn total na parte aérea menores que 200 mg de Mn .kg⁻¹ de M.S. Tais sintomas desapareceram, tanto com a acidificação do solo de 6,7 para 5,9 por meio da aplicação de 0,75 cmol_c de H₂SO₄ .kg⁻¹ de solo, quanto com uma aplicação de 15 mg Mn. kg⁻¹ de solo.

ARANTES & SOUZA (1993), citam haver correlação positiva entre teores de manganês nas folhas de soja e a produtividade de grãos e seu teor de óleo, bem como negativa com o teor de proteína do grão. Os autores afirmam terem promovido aumentos do teor de manganês nas folhas de soja, do nível deficiente para suficiente, e com isso terem aumentado o teor de óleo dos grãos de soja de 22 para 26%, e promovendo, no entanto, uma queda no teor de proteína de 48% para 38%.

2.3 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS

O aumento de produtividade, de qualquer cultura, depende do seu adequado suprimento com nutrientes, que é estimado por meio de sua necessidade nutricional e pela capacidade do solo em fornecê-los. Para tanto, é importante se estudar a relação entre o estado nutricional da planta e a disponibilidade de nutrientes pelos solos para a compreensão da performance da cultura (TISDALE et al., 1993).

As deficiências de micronutrientes, são determinadas através de observações visuais de seus sintomas, de experimentos de campo e de análises de solo e de folhas. A composição nutricional das folhas, é um reflexo da quantidade de nutrientes disponíveis no solo e da habilidade da planta em absorvê-los. As análises podem, efetivamente, serem utilizadas para se determinar a necessidade de um micronutriente e para se especificar um tratamento corretivo (JONES, 1972).

Métodos químicos de análise de solo são úteis para se avaliar o nível de suficiência ou deficiência de vários elementos (nutrientes ou não) para as plantas, bem como para se monitorar a elevação de seus teores nos solos, com vistas a possibilitar recomendações de adubação. No entanto, para a correta interpretação de tais resultados, vários passos devem ser cumpridos, até a sedimentação de níveis interpretativos. Assim, Galvão (1999)¹⁵, citado por EMBRAPA (1999b), propõe níveis interpretativos para B, extraído de solos pela água quente e, para Cu e Mn, extraídos de solos pelo extrator de Mehlich 1 (H_2SO_4 0,015N + HCl 0,05N), para a cultura da soja, apresentados na Tabela 2.3, considerando os teores altos como níveis críticos

¹⁵ GALVÃO, E. Z. Correção da deficiência de Micronutrientes em Solos de Cerrados, para Culturas Anuais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 2p. (Embrapa Cerrados – Guia Técnico do Produtor Rural n. 29).

(N.C.), ou seja, a partir de onde haveria baixa probabilidade de resposta à adubação (TISDALE et al., 1993). EMBRAPA (1999b), através de dados adaptados de Galvão (1999), recomenda a aplicação de B, Cu e Mn no solo, de acordo com a Tabela 2.4.

Tabela 2.3. Níveis interpretativos dos teores de micronutrientes em solos.

Teor	B	Cu	Mn
	Água quente mg.dm ⁻³ .....	..... Mehlich 1..... mg.dm ⁻³	
Baixo	<0,2	<0,4	<1,9
Médio	0,3 – 0,5	0,5 – 0,8	2,0 – 5,0
Alto (N. C.) ¹	>0,5	>0,8	>5,0

Fonte: Galvão, 1999.

¹ N.C.: Nível Crítico.

Tabela 2.4. Recomendação da aplicação de doses de micronutrientes no solo, para a cultura da soja.

Teor	B	Cu	Mn
		..... kg.ha ⁻¹	
Baixo	1,5	2,5	6,0
Médio	1,0	1,5	4,0
Alto	0,5	0,5	2,0

Por outro lado, com vistas à obtenção de recomendações de adubação para micronutrientes, EMBRAPA (1999a), também propôs como instrumento complementar a análise do solo, para a otimização das propostas de adubação, a diagnose foliar, para o quê propõe os níveis interpretativos para B, Cu e Mn, que estão apresentados na Tabela 2.5. Os níveis interpretativos para os outros nutrientes, por EMBRAPA (1999a), são apresentados no Anexo 11.

Tabela 2.5. Níveis interpretativos para Cu, Mn e B para análises de folhas do terço superior de plantas de soja em início de florescimento.

Nutriente	Deficiente ou muito baixo	Baixo	Suficiente ou médio	Alto	Excessivo ou muito alto
	..... mg.kg ⁻¹				
B	<10	10-20	21-55	56-80	>80
Cu	<5	5-9	10-30	31-50	>50
Mn	<15	15-20	21-100	101-250	>250

Fonte: Embrapa Soja, 1999.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E REPRESENTATIVIDADE DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado no Distrito Industrial Ciro Martins do município de Ponta Grossa, PR, no campo experimental da empresa fabricante de fertilizantes Agrocete Indústria e Comércio de Produtos Agropecuários Ltda e, conforme FOWLER (1994), com Latitude de 25°13' S, Longitude de 50°01' W e Altitude de 880 m. A região de Ponta Grossa está localizada no segundo Planalto paranaense, região também conhecida como Campos Gerais (MAACK, 1968), que possui seu capeamento constituído quase que exclusivamente por rochas sedimentares da Era Paleozóica e por rochas ígneas intrusivas (EMBRAPA, 1984).

A vegetação predominante dos Campos Gerais é a dos campos limpos nativos (estepes de gramíneas baixas) com capões, matas de galeria e matas ciliares, ao longo dos rios e arroios, e zonas com araucárias, sendo que originalmente, a área experimental estava coberta pelo primeiro grupo vegetal. O clima da região é classificado segundo Köppen como Cfb, ou seja, mesotérmico, úmido e superúmido, sem estação seca, com verões frescos e com média do mês mais quente inferior a 22°C (MAACK, 1968).

3.1.1 Solos e geologia da área experimental

A área experimental está instalada, provavelmente, sobre a formação Ponta Grossa, constituída por pacotes de folhelhos cinza, fossilíferos, finamente laminados, micáceos, localmente betuminosos, com intercalações muito pouco expressivas de camadas de siltitos e de arenitos, e apresentando concreções ferruginosas (EMBRAPA, 1984).

Pode-se classificar o solo da área experimental em um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico (LEd), conforme EMBRAPA (1984), e de textura Muito Argilosa. Apresentando-se sobre um relevo suave ondulado, os latossolos são solos muito profundos, de sequência de horizontes A, B, C, e possuidores de espessura de A + B superior a 3 metros. São solos preponderantemente álicos e distróficos e, portanto, forte a extremamente ácidos. Exceto pela transição entre A e B, apresentam pequena diferenciação de horizontes, cuja distinção é pouco nítida, devido não só à pequena variação de propriedades morfológicas, como devido às transições amplas e tênues entre os mesmos (EMBRAPA, 1984).

Segundo EMBRAPA (1984), 12% dos solos da área total do Estado do Paraná (19,8 milhões de ha), são classificados como Latossolos Vermelho-Escuros (LE) e, destes, 53% são distróficos (LEd), 35% são álicos (LEa) e 12% são eutróficos (LEe). Portanto, o solo em estudo equivale a 6,3% (1,25 milhões de ha) da área total do Estado e, por serem de relevo suave ondulado, são próprios para a prática da agricultura mecanizada.

3.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Previamente à instalação do experimento, a área experimental (2.117 m²), foi submetida à amostragem de solo (20 de abril de 1998) com vistas à subsidiar a calagem e a adubação da área. Para tanto a área foi dividida em quatro partes iguais donde se tomou com trado holandês 15 sub-amostras que vieram a compor amostras estratificadas da superfície e até a profundidade de 60 cm.

As amostras foram analisadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual de Ponta Grossa, segundo a metodologia proposta por PAVAN et al. (1991). Foram, também, realizadas nas amostras, análises granulométricas com dispersão total por NaOH através do método do densímetro, segundo EMBRAPA (1979). As médias dos teores das quatro glebas estão resumidos nas Tabelas 3.1 e 3.2. Nos Anexos 1 e 2 são apresentados os teores por gleba.

A área foi também caracterizada quimicamente para seus teores extraíveis de micronutrientes (Tabela 3.3). Para tanto, foi realizada uma amostragem de solo da bordadura da área experimental, em abril de 1999, cujos valores foram assumidos como originalmente da área experimental cultivada. Tais elementos foram extraídos e determinados os teores, segundo a metodologia proposta por EMBRAPA (1999c). As análises foram efetuadas pelo Laboratório de Solos e Plantas da Embrapa Soja de Londrina, PR. Com essa amostragem, também foi realizada análises para caracterização química do solo.

Tabela 3.1. Caracterização química: resultados analíticos relativos ao solo da área experimental antes da instalação do experimento¹. Média de quatro amostras.

Prof.	pH	H+Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K	SB	T	P	C	V
cm	CaCl ₂	.....cmol _c .dm ⁻³							mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	%
0-5	5,02	5,28	0,0	2,95	2,17	0,45	5,57	10,85	4,67	25	51,3
5-10	5,00	5,17	0,1	2,87	2,00	0,38	5,25	10,42	4,05	24	50,4
10-20	5,15	5,57	0,0	2,92	2,15	0,28	5,35	10,92	2,87	23	49,0
20-40	4,72	5,70	0,4	1,62	1,62	0,17	3,41	9,11	1,20	18	37,4
40-60	4,75	5,02	0,3	1,40	1,24	0,15	2,79	7,81	1,72	15	35,7

¹ Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR.

Tabela 3.2. Caracterização física: granulometria da fração mineral do solo da área experimental antes da instalação do experimento¹. Médias de quatro amostras.

Prof .	Areia	Silte	Argila
cm	..... g.kg ⁻¹		
0-5	112	154	730
5-10	104	183	710
10-20	105	185	710
20-40	102	129	750
40-60	100	117	800

¹ Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR.

Tabela 3.3. Análises químicas: resultados analíticos relativos ao solo da área experimental antes da instalação do experimento¹.

Prof.	pH	H+Al ⁺³	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ²⁺	K	SB	T	P	C	V
cm	CaCl ₂	.....cmol _c .dm ⁻³							mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	%
0-10	5,08	5,30	0,0	2,94	1,60	0,50	5,04	10,34	8,2	22	48,7
10-20	4,54	6,93	0,38	1,62	0,85	0,37	2,84	9,77	5,8	22	29,1
20-40	4,32	7,81	0,76	0,84	0,45	0,16	1,45	9,26	3,8	20	15,7
	B	Cu		Fe		Mn		Zn			
	..... mg.kg ⁻¹										
0-10	0,20	1,47		71,02		57,22		1,72			
10-20	0,21	1,61		60,41		44,26		0,62			
20-40	0,17	1,58		50,73		33,97		0,38			

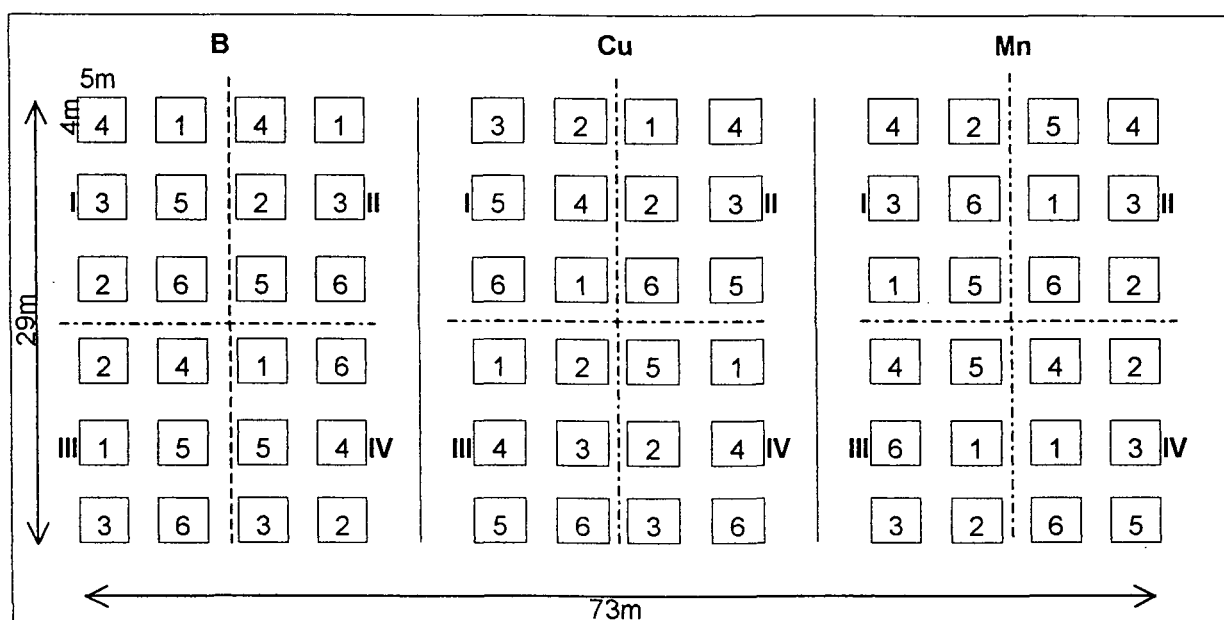
¹ Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solo e de Tecido Vegetal da Embrapa Soja, Londrina, PR.

3.2.1 Calagem, adubação e os tratamentos

Em 03 de junho de 1998, com base nos resultados analíticos apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2, foi efetuada a calagem manualmente quando então aplicou-se 4,2 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 85%), aplicando-se 50% da quantidade total antes de uma aração com arado de aiveca a 30 cm, e, 50% após a aração, que foi incorporada com uma grade niveladora. Nesta mesma oportunidade, foi semeada aveia preta comum (*Avena strigosa*, 95% de germinação e 98,9% de pureza), com vistas a proporcionar cobertura da área experimental e palhada para cobertura morta. Em 25 de setembro de 1998 a aveia foi cortada com ceifadeira, permanecendo a palha sobre a área experimental.

Também em 03 de junho de 1998, foi efetuada a demarcação da área experimental que foi subdividida em três sub-áreas de igual tamanho, utilizadas para a montagem de três experimentos, um para cada micronutriente do presente estudo (B, Cu e Mn), conforme o que está representado na Figura 3.1, com parcelas de 20 m², blocos de 154m² e gerando por cada experimento 667m². A área total destinada a este trabalho foi de 2.117 m².

Figura 3.1. Croqui da área experimental (Repetições: I, II, III e IV, Tratamentos: 1 a 6).



Foram conduzidos, simultaneamente na área experimental, três experimentos distintos com a cultura da soja, cada um com doses de respectivamente, B, Cu e Mn. Para tanto, foi utilizado um delineamento experimental de blocos ao acaso com 6 tratamentos e quatro repetições, para cada experimento a saber: 6 doses de B; 6 doses de Cu; e 6 doses de Mn. Na Tabela 3.4 constam as

doses do elemento e de fontes utilizadas. As fontes utilizadas para o B, Cu e Mn foram as seguintes: H_3BO_3 (17% B); $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (35% Cu) e $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (30% Mn). Um dos critérios utilizados para tais doses foi o proposto por EMBRAPA (1998), que recomenda para o caso de serem constatadas deficiências, e os teores serem enquadrados como médios a baixos, aplicação de 0,5 a 1 kg de B .ha⁻¹, de 0,5 a 2 kg de Cu .ha⁻¹ e 2,5 a 6 kg de Mn .ha⁻¹.

Tabela 3.4. Doses de micronutrientes: elementos e fontes.

Trat.	Boro		Cobre		Manganês	
	H_3BO_3		$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	
	B	(17% B)	Cu	(35% Cu)	Mn	(30% Mn)
nº	..... kg.ha ⁻¹					
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,1	0,6	0,3	0,85	1,0	3,3
3	0,3	1,8	0,9	2,55	3,0	10,0
4	0,9	5,4	2,7	7,65	9,0	30,0
5	2,7	16,2	8,1	22,95	27,0	90,0
6	8,1	48,6	24,3	68,85	81,0	270,0

Além da calagem, em 31 de outubro de 1998, foram aplicados a lanço, em toda a área experimental, 400 kg.ha⁻¹ da fórmula 4-20-20 (N-P₂O₅-K₂O) e 40 kg.ha⁻¹ de enxofre (S) que foram incorporados a 20 cm, juntamente com a palhada de aveia preta, com arado de aiveca e, após, com a grade aradora. Além disso, todas as parcelas receberam 5 kg.ha⁻¹ de Zn, na forma de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (21% Zn). Paralelamente a isso, o experimento com doses de Mn recebeu, em todas as

parcelas, a dose equivalente a 0,9 kg de B e de Cu .ha⁻¹, o mesmo ocorreu com o Cu em cujas parcelas aplicaram-se as doses de 0,9 kg de B .ha⁻¹ e 3,0 kg de Mn .ha⁻¹, e repetindo-se o mesmo procedimento no experimento com B, onde todas as suas parcelas receberam 0,9 kg de Cu .ha⁻¹ e 3,0 kg de Mn .ha⁻¹. Para a aplicação das dosagens, relativas aos tratamentos das parcelas experimentais, utilizou-se como veículo o próprio solo da parcela receptora do tratamento. Para tanto, misturou-se a dose de cada tratamento (Tabela 3.4), com aproximadamente 20 litros de solo que foi então aplicado a lanço à superfície das parcelas. Para melhorar a incorporação dos micronutrientes aplicados, passou-se novamente a grade aradora na área experimental.

3.2.2 O cultivo da área

A área foi cultivada sob sistema convencional e o plantio realizado em 03 de dezembro de 1998 com a cultivar de soja Embrapa 133, classificada como de ciclo semi-precoce, que pode variar de 116 a 125 dias, de forma a se obter uma densidade populacional média entre 20 e 25 plantas por metro linear. As sementes foram previamente tratadas com fungicida (Tegran – 200 ml .100kg⁻¹ de sementes) e com 100g .50kg⁻¹ de sementes do produto comercial Grap MoCo (25% de Mo e 2% de Co) e, em seguida inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* (100 g de inoculante turfoso .50kg⁻¹ de sementes, preparado na Embrapa Soja, com 10⁹ células viáveis da bactéria). Após 12 dias, efetuou-se a contagem de plantas emergidas para posterior desbaste, de modo a se obter uma densidade homogênea de 16 plantas por metro linear. Os tratamentos fitossanitários foram aplicados na cultura, conforme

o que preconiza a EMBRAPA (1998).

A Tabela 3.5 resume o cronograma de execução do experimento, durante o ciclo da soja até a colheita.

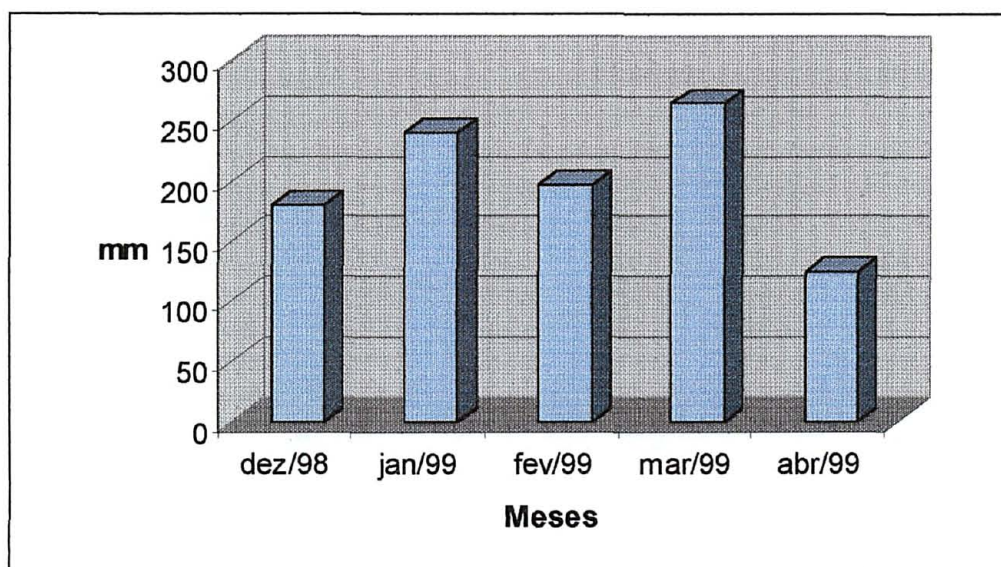
Tabela 3.5. Cronograma de execução: resumo das operações realizadas, práticas de adubação e tratossanitários, implementados no ano agrícola 98/99, durante o ciclo de soja.

Práticas implementadas	Meses											
	1998								1999			
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
Amostragem do solo	■											
Calagem			■									
Marcação da área experimental			■									
Plantio aveia preta			■									
Rolagem aveia						■						
Adubação (NPK + S + Zn)								■				
Aplicação tratamentos (B, Cu, Mn)								■				
Aplicação herbicida (Scepter + Trifluralin)								■				
Trat. de sementes (Tegran + Grap MoCo + inoculante)									■			
Plantio soja									■			
Avaliação emergência									■			
Desbaste									■			
Aplicação inseticida (Strom)									■			
Aplic. herbicida (Fusilade + Robust) + Inseticida (Strom)										■		
Aplicação fungicida (Saprol)										■		
Amostragem foliar											■	
Aplicação fungicida + inseticida (Saprol + Strom)												■
Colheita												■
Amostragem solo												■

Assumindo-se que a precipitação sobre a área experimental coincidiu com a registrada em outra propriedade (Fazenda Capão Grande), localizada na região, observa-se na Figura 3.2 uma boa distribuição de chuvas durante o ciclo da soja

estudado, e que atende às necessidades de água estimada por EMBRAPA (1998), de 450 a 800 mm. No anexo 3 são apresentados os índices pluviométricos mensais durante os anos de 1998 e 1999.

Figura 3.2 Índice pluviométrico durante o ciclo da soja.



3.3 VARIÁVEIS ESTUDADAS

3.3.1 Teores foliares

Com o intuito de se avaliar o efeito das doses de nutrientes aplicados sobre o teor foliar de B, Cu, Mn e Zn, e de Ca, Mg e K, foram coletadas de cada parcela, na época do florescimento (estádio R₁) 30 terceiras folhas com pecíolo, contadas a partir do ápice da planta. As folhas foram lavadas inicialmente com água destilada, para a seguir serem lavadas com detergente neutro e, em seguida, enxaguadas com água destilada, para finalmente serem acondicionadas em sacos de papel. Estas foram então secas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até alcançarem peso constante, para serem em seguida moídas. Foram analisados os seguintes nutrientes, segundo EMBRAPA (1999c): B, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg e K. Todas as análises foram efetuadas pelo Laboratório de análise de solo e tecido vegetal da Embrapa Soja em Londrina, PR.

3.3.2 Produtividade e qualidade de grãos

A colheita foi realizada tão logo a cultura atingiu o ponto de colheita (estádio R₈), de acordo com a Tabela 2.2, obtido aos 119 dias de ciclo a partir da emergência (03 de abril de 1999), quando foram efetuadas as seguintes determinações: produtividade (área útil de 6m²) de cada parcela, corrigindo-se a umidade a 13% e então, convertendo-se a kg.ha⁻¹ e; qualidade de grãos, obtida pelo

seu teor de proteína, peso de 100 grãos e teores de B, Cu, Mn, Zn, K, Ca e Mg, determinados através da mesma metodologia utilizada para teores foliares.

3.3.3 Características químicas do solo

Após a colheita, em 03 de abril de 1999, foram tomadas amostras de solo, de cada parcela, das profundidades de 0 a 20 cm, sendo analisadas as seguintes variáveis, segundo metodologia proposta por Embrapa (1999c): Ca, Mg, K, B, Cu, Mn, e Zn. As análises foram efetuadas pelo Laboratório de Solos e Plantas da Embrapa Soja de Londrina, PR.

3.4. METODOLOGIAS DE ANÁLISES QUÍMICAS DE SOLO, DE TECIDO VEGETAL E DE GRÃOS

3.4.1. Análises químicas de solo

As amostras foram analisadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual de Ponta Grossa, segundo PAVAN (1991), e pelo Laboratório de Solos e Plantas da Embrapa Soja, segundo EMBRAPA (1999c). Seguindo as seguintes metodologias (Tabelas 3.1 e 3.3):

- pH em CaCl_2 (0,01 M), por potenciometria;
- H + Al com solução tampão SMP, por potenciometria;
- Ca, Mg e Al, por extração com KCl 1M, sendo Ca e Mg, determinados por espectrofotometria de absorção atômica, no L. S. T. V. da Embrapa Soja, Londrina, PR, e por titulação com EDTA, no L. F. S. da U.E.P.G., Ponta Grossa, PR, e o Al determinado por volumetria e titulado com NaOH;
- P e K, extraídos com solução Mehlich 1 (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N), sendo o K determinado por fotometria de chama, e P, por espectrofotometria a 660 nm, em Londrina, PR, e colorimetria, em Ponta Grossa, PR;
- C, extraível por digestão com dicromato de potássio em meio ácido e, determinado volumetricamente pela titulação indireta do dicromato com sulfato ferroso amoniacal, em Londrina, e por colorimetria, em Ponta Grossa;

Com relação à análise química de micronutrientes (Tabela 3.3), realizada pelo Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da Embrapa Soja de Londrina,

PR., foram determinados os teores segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1999c):

- Zn, Cu e Mn foram extraídos com solução de Mehlich 1 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica;

- B, extraído com solução de água quente com BaCl_2 em forno de microondas e determinado por espectrofotometria com Azometina-H a 420 nm;

Os valores da Soma de Bases (SB), da Capacidade de Troca de Cátions (T) e da Saturação de Bases (V%), foram calculados a partir da análise do solo.

3.4.2. Análises químicas de folhas e de grãos

As amostras de folhas e de grãos foram analisadas, pelo Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da Embrapa Soja em Londrina, PR., segundo as seguintes metodologias (EMBRAPA, 1999c):

- Zn, Cu, Mn, Ca, Mg e K foram determinados a partir de 500 mg de material, sendo sua determinação obtida por digestão com mistura de HNO_3 e HClO_4 (3:1) e determinado por espectrometria de emissão por plasma acoplado indutivamente (ICP-EAS);

- B, analisado por via seca através de incineração em mufla elétrica a 450°C-550°C e determinado por espectrofotometria com Azometina-H a 460 nm;

- N, foi obtido por digestão sulfúrica e determinado por espectrofotometria com azul-de-indofenol. Para obtenção do teor de proteína nos grãos, o teor de N foi multiplicado pela constante 6,25, que é utilizada nesta transformação nos grãos de soja.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos de cada experimento foram submetidos à ANOVA (Tabela 3.6) e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do Pesquisador M. S. José Erivaldo Pereira do Setor de Biometria da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Tabela 3.6. Esquema de análise de variância da regressão para cada micronutriente.

F.V.	G.L.
Blocos	3
(Tratamentos)	(5)
Regressão Linear	1
Regressão Quadrática	1
Regressão Cúbica	1
Resíduo da Regressão	2
Erro	15
TOTAL	23

Além disso, foram realizadas análises de correlação entre as principais variáveis dos experimentos, entre elas: teores foliares, teores e peso de grãos, teores de proteína, produção e doses de B, Cu e Mn.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO COM B

4.1.1 Efeito da aplicação de doses de B na produtividade e na qualidade de grãos

Após 12 dias do plantio, ao se efetuar a avaliação da emergência, antes do desbaste, notou-se no experimento com B, em três das repetições do tratamento de maior dose ($8,1 \text{ kg.ha}^{-1}$), que as folhas das plantas apresentavam-se com as margens amareladas, levemente enrugadas e algumas com início de necrose. Tais sintomas coincidem com os descritos por MALAVOLTA et al. (1997), como sintomas de excesso de B que ocorre nos locais de acumulação deste nutriente. Esse sintoma visual, desapareceu no decorrer do desenvolvimento da cultura. TISDALE et al. (1993) classificam a soja como uma cultura sensível à toxidez de boro, ou seja, mesmo em concentrações suficientes, o B pode ser tóxico para a cultura.

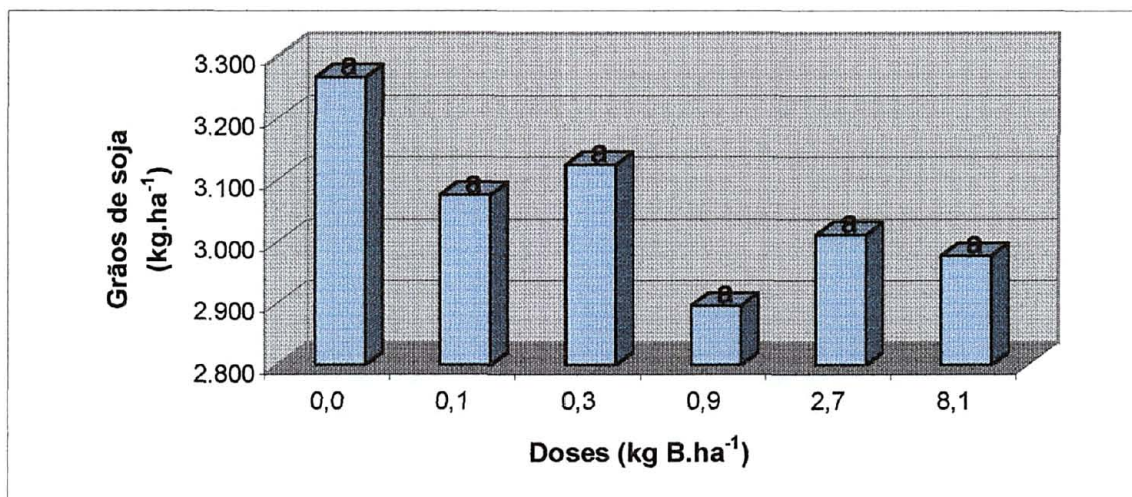
Os resultados de produtividade da soja, para o experimento com doses de B, podem ser observados na Figura 4.1, onde não se observou diferenças significativas. Isso indica que o teor inicial de B no solo, considerado baixo ($0,20 \text{ mg.dm}^{-3}$ – Tabela 3.3), deve ser suficiente para o bom desenvolvimento da soja. No entanto, verificou-se uma pequena tendência de diminuição na produtividade à medida que aumentaram as doses. Contudo, tais produtividades apresentaram-se

sempre acima da média brasileira e paranaense na safra 1998/99, ou seja, respectivamente 2.422 e 2750 kg.ha⁻¹ (EMBRAPA, 1999a). Em trabalho conduzido em casa de vegetação, Galvão et al. (1984), citados por BORKERT et al.(1988), com dez solos de várzea, representativos das principais bacias hidrográficas da região do cerrado brasileiro, observaram efeitos deletérios na produtividade de grãos já a partir da dose de 4 kg de B.ha⁻¹, tendo a dose de 16 kg causado o maior efeito deletério.

Com relação à qualidade de grãos, os resultados obtidos para o peso de 100 grãos e para teor de proteína estão resumidos nas Figuras 4.2 e 4.3 respectivamente, não tendo sido influenciados significativamente pela aplicação de B. Entretanto, houve uma sutil tendência de redução do teor de proteína, a partir da dose de 0,3 kg de B.ha⁻¹. Isso ocorreu, provavelmente, devido à falta ou ao excesso do nutriente, pois, o B pode ter um papel importante na nodulação (Rushel et al, 1966, citados por BORKERT & LANTMANN, 1988).

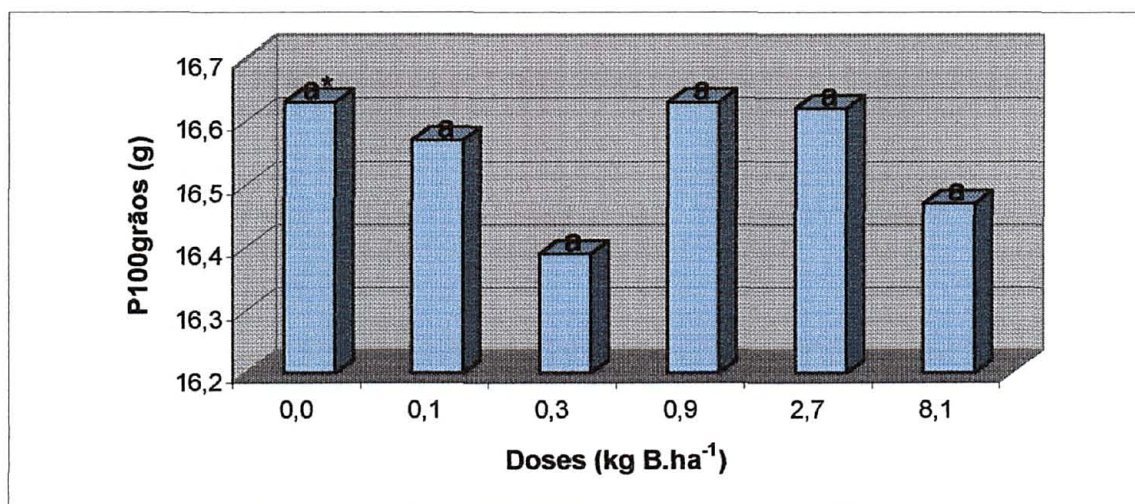
Os valores para produtividade, peso de 100 grãos e teor de proteína, do experimento com B, podem ser observados no Anexo 4.

Figura 4.1. Produtividade de grãos de soja em função da aplicação de doses de B.



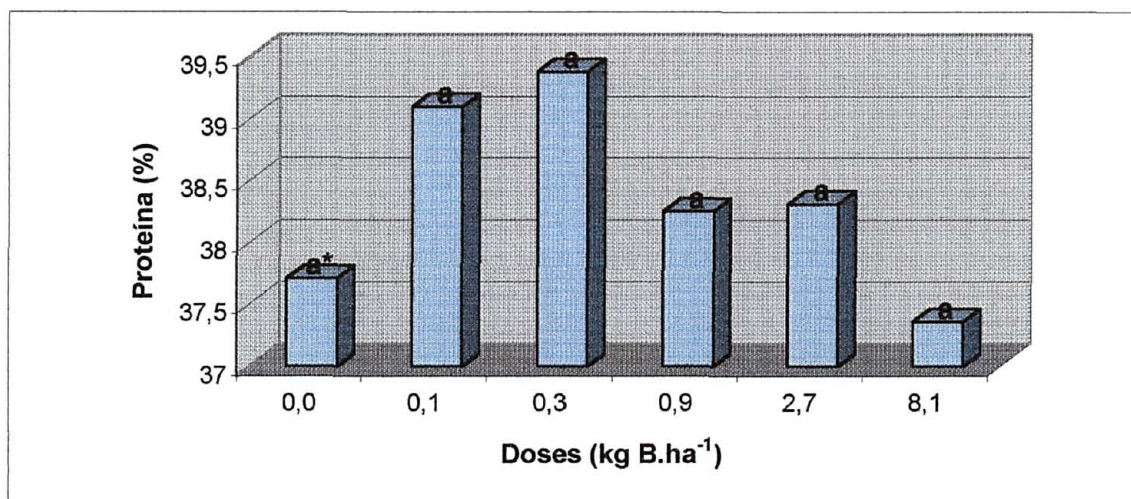
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.2. Peso de 100 grãos em função da aplicação de doses de B.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.3. Teor de proteína encontrado nos grãos, em função da aplicação de doses de B.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.1.2 Efeito da aplicação de doses de B nos teores foliares e nos grãos de soja

Os teores foliares de K, Ca e Mg e de B, Cu, Mn e Zn (Anexo 5) estão representados na Figura 4.4 e 4.6 respectivamente. De acordo com as concentrações de nutrientes, usadas na interpretação dos resultados das análises de folhas de soja, por EMBRAPA (1999a), os teores foliares encontrados, são classificados como suficientes ou médios (Anexo 11). Nas Figuras 4.5 e 4.7 são apresentados os teores encontrados nos grãos (Anexo 6).

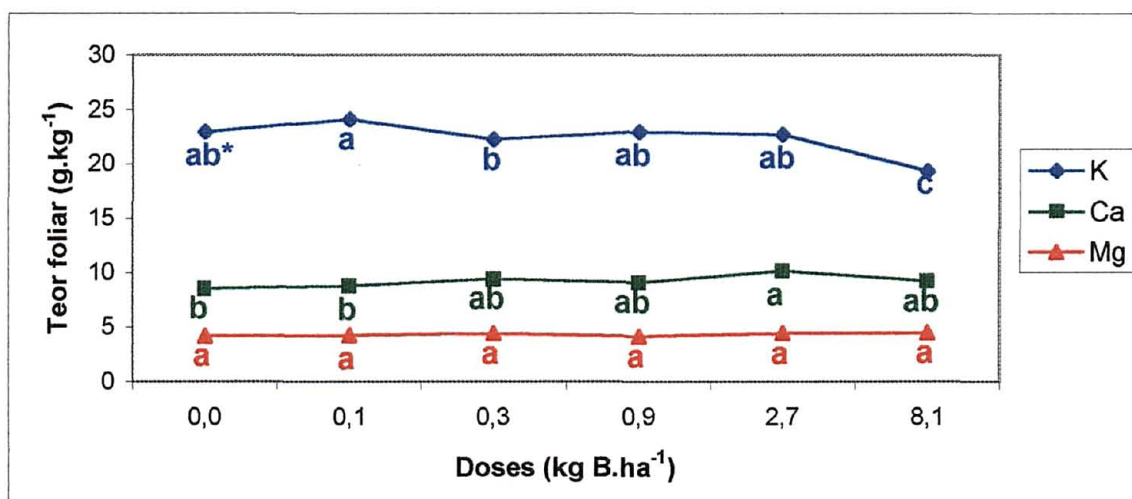
Os teores foliares de K decresceram com o aumento das doses de B, o que aparentemente está em discordância com MALAVOLTA (1980) que afirma

haver influência do nutriente na atividade de componentes específicos da membrana celular onde resulta no aumento da capacidade da raiz em absorver P, Cl e K. Por outro lado, a tendência observada poderia ter ocorrido devido a uma interação antagônica, conforme o que propõe Kabata-Pendias & Pendias (1985), citados por FERREIRA & CRUZ (1991), ou seja, na presença de um elemento há diminuição da absorção do outro (Figura 4.4). Já os teores de K nos grãos não foram afetados pela aplicação de B (Figura 4.5).

Com relação ao Mg, os teores foliares e nos grãos, estes não foram influenciados pela aplicação de doses de B. Já os teores de Ca tenderam a aumentar tanto nas folhas como nos grãos.

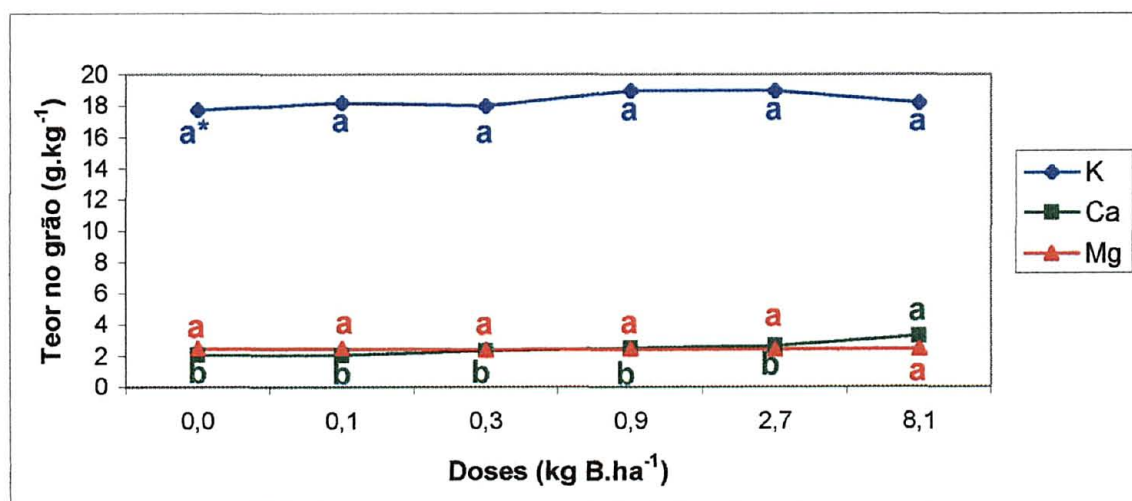
Pode-se observar que os teores de B, nas folhas e nos grãos, aumentaram com a aplicação de B (Figura 4.6 e 4.7). Porém, os teores encontrados no tratamento de dosagem de $8,1\text{kg.ha}^{-1}$ (52 mg.kg^{-1} e $29,80\text{ mg.kg}^{-1}$), mesmo classificados como teores médios a suficientes (EMBRAPA, 1999a) causaram sintomas de toxidez no início do desenvolvimento da cultura, além da produtividade se apresentar com tendência à redução com a aplicação deste nutriente (Figura 4.1). Os teores foliares de Cu e Zn (Figura 4.6) não foram influenciados pela aplicação de B, assim como os teores destes elementos nos grãos (Figura 4.7). Com relação ao Mn, houve decréscimo dos teores foliares, não havendo influência nos teores nos grãos.

Figura 4.4. Teores foliares de K, Ca e Mg em função da aplicação de doses de B.



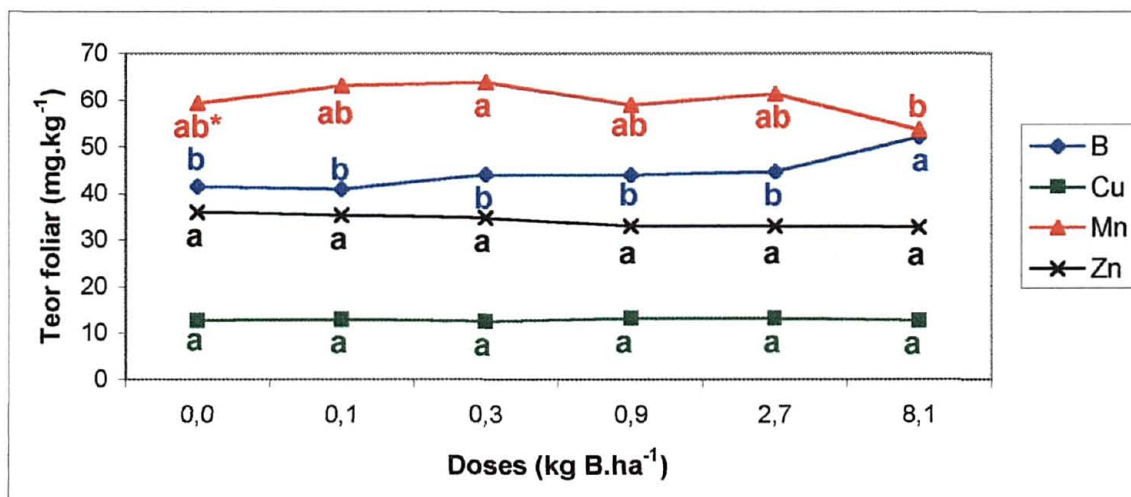
*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.5. Teores de K, Ca e Mg encontrados nos grãos em função da aplicação de doses de B.



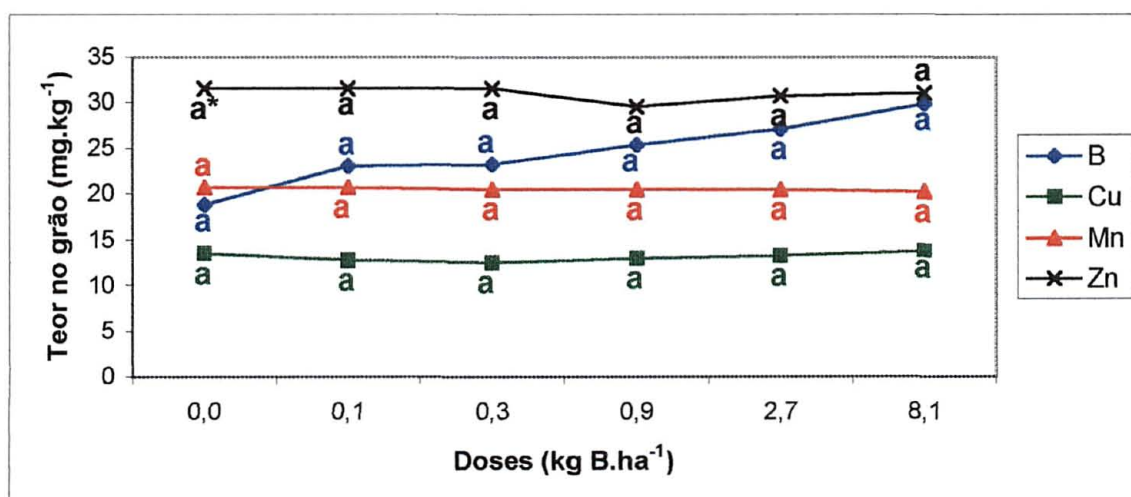
*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.6. Teores foliares de B, Cu, Mn e Zn em função da aplicação de doses de B.



*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.7. Teores de B, Cu, Mn e Zn encontrados nos grãos em função da aplicação de doses de B.



*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.1.3 Efeito da aplicação de doses de B sobre as características químicas do solo

Considerando-se a análise do solo, de amostras coletadas após a colheita da soja, verificou-se que até 0,9 kg de B. ha⁻¹ aplicados não houve aumento significativo do teor de B no solo, com níveis considerados baixos (<0,30 mg.dm⁻³) conforme EMBRAPA (1999b - Tabela 2.3). Só a partir da dose 2,7 kg de B. ha⁻¹, os teores de B no solo foram superiores ao nível crítico de 0,5 mg.dm⁻³. Como houve tendência de diminuição na produtividade da soja, com a aplicação de doses de B (Figura 4.1), esses resultados indicam que o nível crítico preconizado pode ser modificado, caso resultados semelhantes forem conseguidos em trabalhos futuros (Tabela 4.1 e Figura 4.8).

Não houve efeitos das doses de B sobre as demais características do solo.

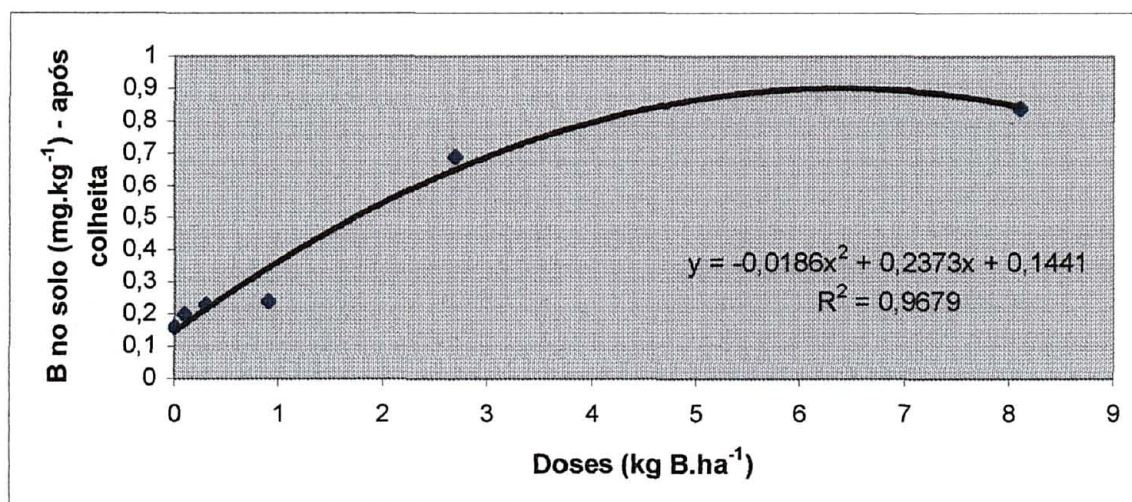
Tabela 4.1. Caracterização química: resultados analíticos relativos ao solo da área experimental após a colheita da soja, no experimento com B¹.

Doses B kg.ha ⁻¹	Ca	Mg	K	B	Cu	Mn	Zn
	..... mg.kg ⁻¹						
0,0	3,02 a ²	1,89 a	0,23 a	0,16 c	1,50 a	46,50 a	1,65 a
0,1	3,11 a	1,87 a	0,22 a	0,20 c	1,53 a	44,50 a	1,75 a
0,3	3,56 a	2,19 a	0,23 a	0,23 c	1,48 a	46,75 a	1,70 a
0,9	3,07 a	1,93 a	0,25 a	0,24 c	1,50 a	45,50 a	1,45 a
2,7	2,81 a	1,82 a	0,23 a	0,69 b	1,48 a	47,00 a	1,73 a
8,1	3,30 a	1,98 a	0,21 a	0,84 a	1,60 a	46,75 a	1,90 a

¹ Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solo e de Tecido Vegetal da Embrapa Soja. Londrina, PR.

² Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

Figura 4.8. Efeito da aplicação de doses de B sobre o teor de B no solo.



4.1.4 Correlações

Na Tabela 4.2 encontram-se as correlações das principais variáveis do experimento com B, onde observa-se a correlação positiva entre os teores foliares de K e de Mn com o teor de proteína, enquanto os teores de Ca, de Mg e de Cu no grão correlacionaram-se negativamente. Com relação à produção, houve correlação positiva com os teores foliares e no grão de Zn e com os teores no grão de Mn, porém, houve correlação negativa dos teores foliares de Cu, e com os teores no grão de K, de Ca e de B. Os teores de B no solo também correlacionaram-se negativamente com a produção de soja. No Anexo 12 encontram-se as correlações de todas as variáveis do experimento com B.

Tabela 4.2. Resumo das correlações das principais variáveis do experimento com B.

Experimento com B				
Variável	Proteína	P100grãos	Produção	Doses
K-folha	0,60 ^{*1}	0,51	0,26	-0,92*
Ca-folha	0,16	-0,17	-0,42	0,27
Mg-folha	-0,01	-0,67*	-0,11	0,65*
Zn-folha	0,34	0,02	0,89**	-0,68*
Mn-folha	0,91**	-0,05	0,33	-0,82**
Cu-folha	-0,12	0,78*	-0,60*	-0,06
B-folha	-0,56	-0,44	-0,49	0,96**
K-grão	-0,03	0,44	-0,82**	0,12
Ca-grão	-0,60*	-0,29	-0,60*	0,96**
Mg-grão	-0,64*	0,67*	-0,18	0,23
Zn-grão	0,24	-0,43	0,80*	-0,11
Mn-grão	0,38	0,47	0,63*	-0,85**
Cu-grão	-0,98**	0,30	-0,02	-0,69*
B-grão	-0,28	-0,24	-0,82**	0,83**
B-solo	0,33	-0,18	-0,82**	0,58**
Proteína	-	-0,34	0,09	-0,64*
P100grãos	-0,34	-	-0,05	-0,28
Produção	0,09	-0,05	-	-0,45

¹ * 5%

** 1%

4.2 EXPERIMENTO COM Cu

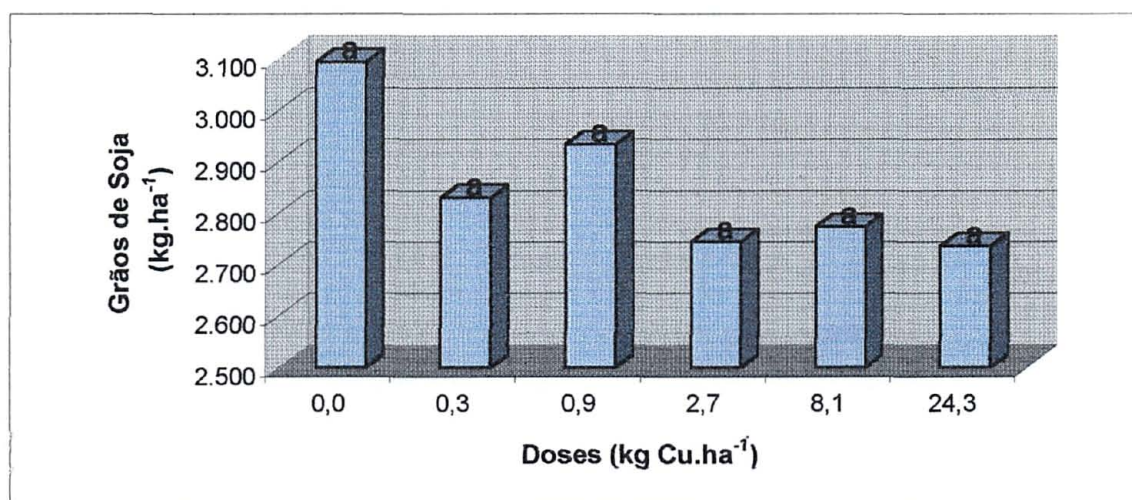
4.2.1 Efeito da aplicação de doses de Cu na produtividade e na qualidade de grãos

No experimento com Cu não foram observados sintomas visuais nas folhas, por ocasião da emergência. Com relação à produtividade da soja à aplicação de Cu (Figura 4.9, Anexo 4), verificou-se uma pequena tendência de redução a medida que se aumentaram as doses, da mesma maneira que no experimento com B, apesar da inexistência de evidências estatisticamente detectadas. Contudo, tais produtividades, assim como no experimento com B, estiveram acima da média brasileira e paranaense na safra 1998/99, ou seja, 2.422 e 2750 kg.ha⁻¹ respectivamente (EMBRAPA, 1999a).

O peso de 100 grãos e o teor de proteína dos grãos (Figuras 4.10 e 4.11 respectivamente e Anexo 4) não foram influenciados pela aplicação de doses de Cu, provavelmente devido à boa disponibilidade deste nutriente no solo, anterior à instalação do experimento (Tabela 3.3). Contudo, os teores de proteína nos grãos se apresentaram maiores que no experimento com B, pois enquanto no experimento com B os teores estiveram compreendidos entre 37,7 a 39,4 % (Figura 4.3), no experimento com Cu os teores de proteína nos grãos apresentaram valores que variaram entre 39,2 a 40,0 (Figura 4.11). Isso pode ser talvez explicado pelas funções do Cu na planta, que além de participar da fotossíntese onde cerca de 70% do elemento está presente em cloroplastos na forma de proteínas complexas, participa da fixação simbiótica de N₂, em

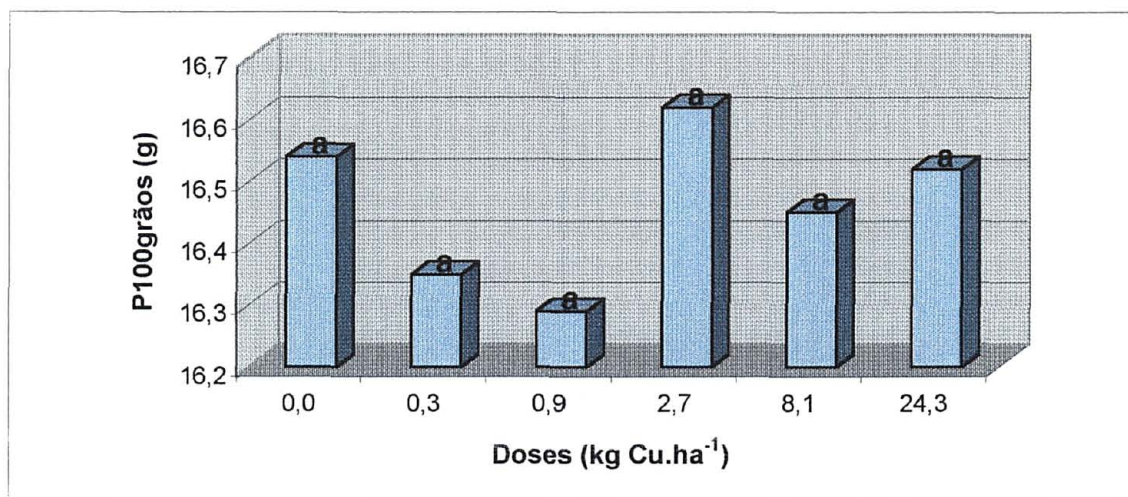
leguminosas, onde a deficiência de Cu diminui a nodulação e a fixação do nitrogênio, devido à inibição dos rizóbios (MALAVOLTA et al., 1997).

Figura 4.9. Produtividade de grãos de soja em função da aplicação de doses de Cu.



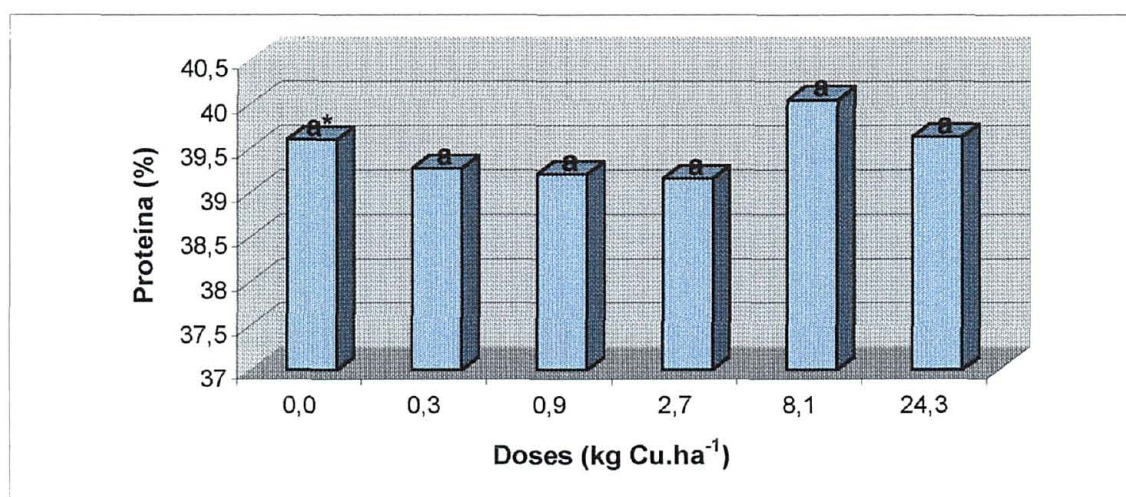
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.10. Peso de 100 grãos em função da aplicação de doses de Cu.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.11. Teor de proteína encontrado nos grãos, em função da aplicação de doses de Cu.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.2.2 Efeito da aplicação de doses de Cu nos teores foliares e nos grãos de soja

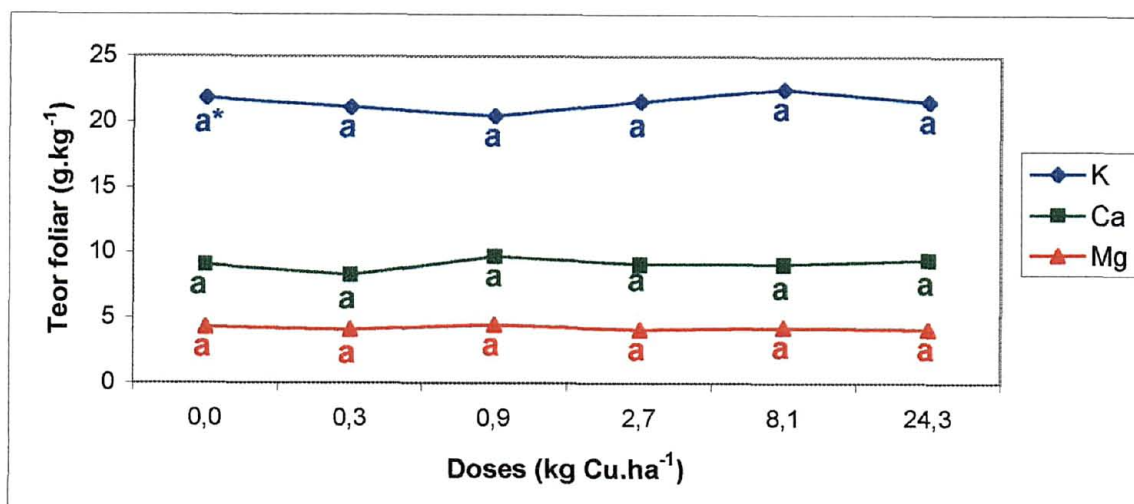
Os teores foliares de K, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn (Anexo 7), em função da aplicação de doses de Cu, estão resumidos nas Figuras 4.12 e 4.14. As concentrações obtidas, de acordo com EMBRAPA (1999a), encontram-se suficientes ou médios (Anexo 11). Os teores de K, Ca, Mg, B e Mn não foram influenciados pela aplicação de Cu.

Já para o Zn, houve alteração significativa de seus teores a medida que as doses de Cu variaram (Figura 4.14). Segundo MALAVOLTA et al. (1997), no processo de absorção ativa, há competição entre Cu e Zn pelos mesmos sítios do carregador. MENGEL & KIRKBY (1987), afirmaram existir evidências de que o Cu inibe a absorção do Zn e vice-versa. Portanto pode ter ocorrido neste trabalho uma interação antagônica entre os elementos Cu e Zn.

Os teores foliares e nos grãos de Cu (Anexo 8) também variaram significativamente com o aumento das doses do mesmo (Figura 4.14 e 4.15). Segundo MALAVOLTA et al. (1997), o Cu tem mobilidade restrita, e depende do teor no tecido: em plantas bem nutridas vai com facilidade até os grãos, enquanto nas deficientes o movimento é mais difícil.

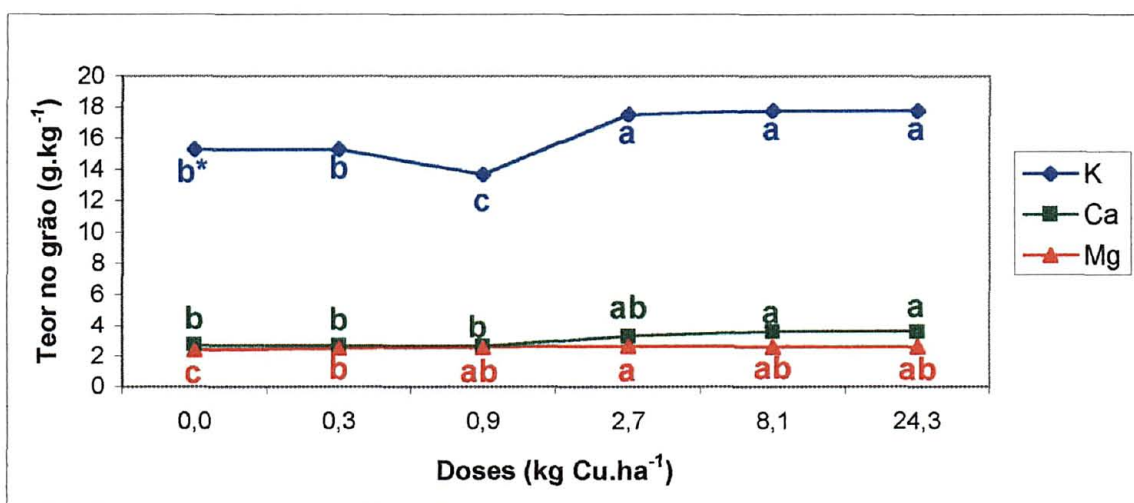
Os teores de K, Ca e Mg nos grãos (Figura 4.13 e Anexo 8) aumentaram significativamente em função do aumento das doses de Cu. Com relação aos teores de B, Mn e Zn nos grãos (Figura 4.15 e Anexo 8), não houveram alterações significativas com aplicações de Cu.

Figura 4.12. Teores foliares de K, Ca e Mg em função da aplicação de doses de Cu.



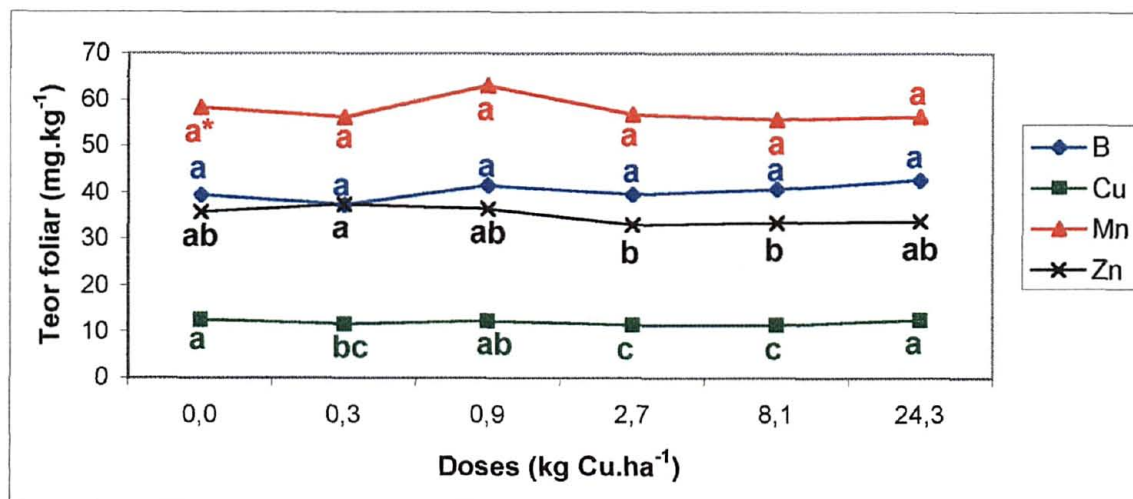
*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.13. Teores de K, Ca e Mg encontrados nos grãos em função da aplicação de doses de Cu.



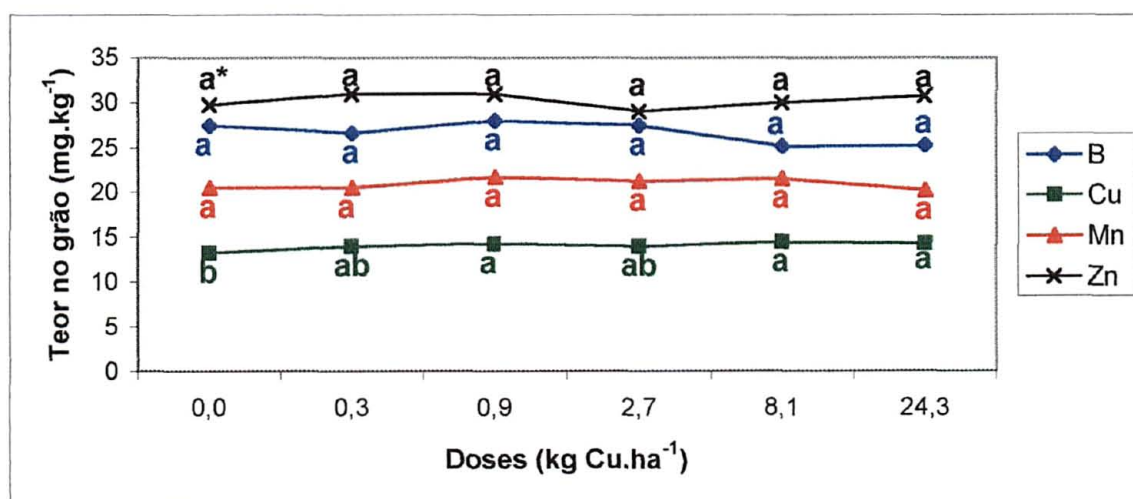
*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.14. Teores foliares de B, Cu, Mn e Zn em função da aplicação de doses de Cu.



*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.15. Teores de B, Cu, Mn e Zn encontrados nos grãos em função da aplicação de doses de Cu.



*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.2.3 Efeito da aplicação de doses de Cu sobre as características químicas do solo

Considerando-se a análise do solo, de amostras coletadas após a colheita da soja, verificou-se que até 8,1 kg de Cu .ha⁻¹ aplicados, não houve aumento significativo do teor de Cu no solo, com níveis considerados altos (>0,80 mg.dm⁻³) conforme EMBRAPA (1999b - Tabela 2.3). Como houve tendência de diminuição na produtividade da soja, com a aplicação de doses de Cu (Figura 4.9), esses resultados indicam que aplicações de Cu, quando os teores estão acima do nível crítico preconizado (>0,80 mg.dm⁻³), podem causar problemas de toxicidade, com diminuição da produtividade (Tabela 4.3. e Figura 4.16).

Não houve efeitos das doses de Cu sobre as demais características do solo.

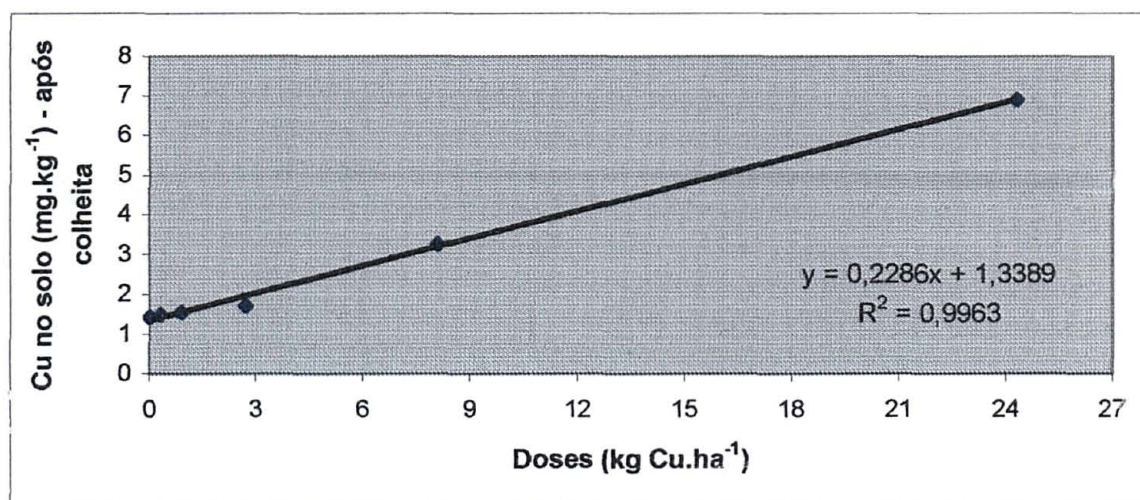
Tabela 4.3. Caracterização química: resultados analíticos relativos ao solo da área experimental após a colheita da soja, no experimento com Cu¹.

Doses Cu kg.ha ⁻¹	Ca	Mg	K	B	Cu	Mn	Zn
	..... mg.kg ⁻¹						
0,0	3,09 a ²	1,99 a	0,20 a	0,29 a	1,43 b	47,50 a	1,60 a
0,3	2,94 a	1,85 a	0,18 a	0,34 a	1,50 b	49,75 a	1,73 a
0,9	3,58 a	2,20 a	0,22 a	0,37 a	1,55 b	50,00 a	1,73 a
2,7	3,52 a	2,24 a	0,21 a	0,30 a	1,70 b	47,00 a	1,43 a
8,1	3,22 a	2,29 a	0,20 a	0,34 a	3,25 b	50,25 a	1,90 a
24,3	3,25 a	2,30 a	0,24 a	0,28 a	6,90 a	50,75 a	1,80 a

¹ Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solo e de Tecido Vegetal da Embrapa Soja. Londrina, PR.

² Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

Figura 4.16. Efeito da aplicação de doses de Cu sobre o teor de Cu no solo.



4.2.4 Correlações

Na Tabela 4.4 são encontradas as correlações das principais variáveis do experimento com Cu, onde observa-se que os teores foliares de B e de Cu no solo correlacionaram-se positivamente com o teor de proteína nos grãos, enquanto os teores de Ca e Cu nos grãos correlacionaram-se negativamente com a produção de soja. No Anexo 13 são apresentadas as correlações realizadas para o experimento com Cu.

Tabela 4.4. Resumo das correlações das principais variáveis do experimento com Cu.

Experimento com Cu				
Variável	Proteína	P100grãos	Produção	Doses
K-folha	0,82** ¹	0,60*	-0,20	0,28
Ca-folha	0,07	0,04	0,05	0,37
Mg-folha	0,16	-0,50	0,57	-0,19
Zn-folha	-0,39	-0,75*	0,57	-0,53
Mn-folha	-0,44	-0,53	0,53	-0,34
Cu-folha	-0,01	-0,08	0,55	0,30
B-folha	0,31	0,06	-0,21	0,71*
K-grão	0,50	0,70*	-0,72	0,63*
Ca-grão	0,56	0,52	-0,75*	0,77
Mg-grão	-0,20	0,07	-0,87	0,37
Zn-grão	-0,06	-0,84	0,03	0,20
Mn-grão	-0,06	-0,32	-0,06	-0,39
Cu-grão	0,22	-0,35	-0,76*	0,43
Cu-solo	0,99**	0,45	0,23	-0,53
B-grão	0,32	0,24	-0,24	-0,39
Proteína	-	0,14	-0,07	0,42
P100grãos	0,14	-	-0,18	0,27
Produção	-0,07	-0,18	-	-0,56

¹ * 5%

** 1%

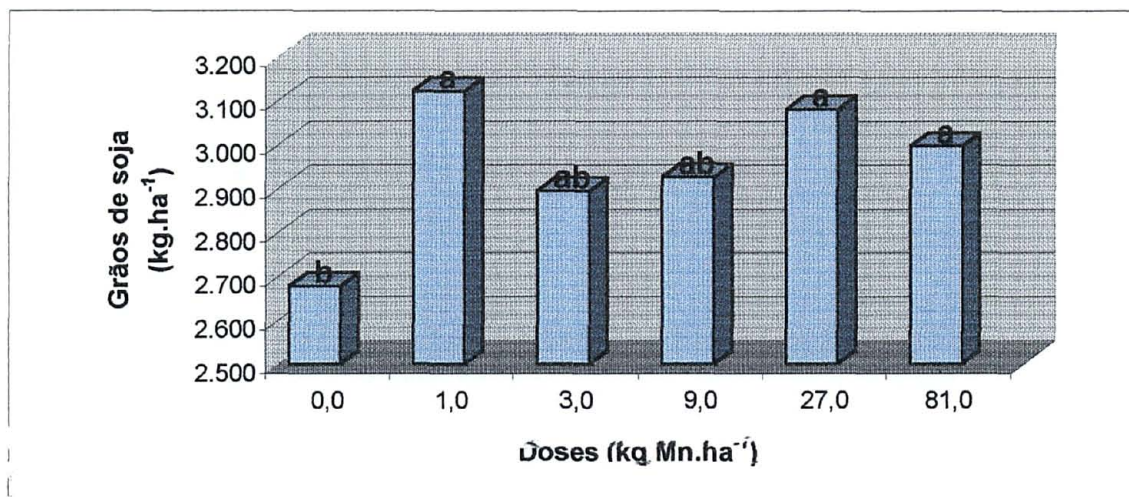
4.3 EXPERIMENTO COM Mn

4.3.1 Efeito da aplicação de doses de Mn na produtividade e na qualidade de grãos

No experimento com Mn, não foram observados sintomas visuais de deficiência ou toxidez nas folhas de soja, nos tratamentos implementados. Os resultados obtidos para a produtividade de soja, para o experimento com doses de Mn, podem ser observados na Figura 4.17 e Anexo 4, para o que se observou uma resposta positiva à aplicação do micronutriente até a dose de 1 kg Mn.ha^{-1} , apesar do peso de 100 grãos (Figura 4.18 e Anexo 4) e o teor de proteína nos grãos (Figura 4.19 e Anexo 4) não terem sido influenciados, significativamente. Porém, nota-se uma leve tendência de aumento no peso de 100 grãos.

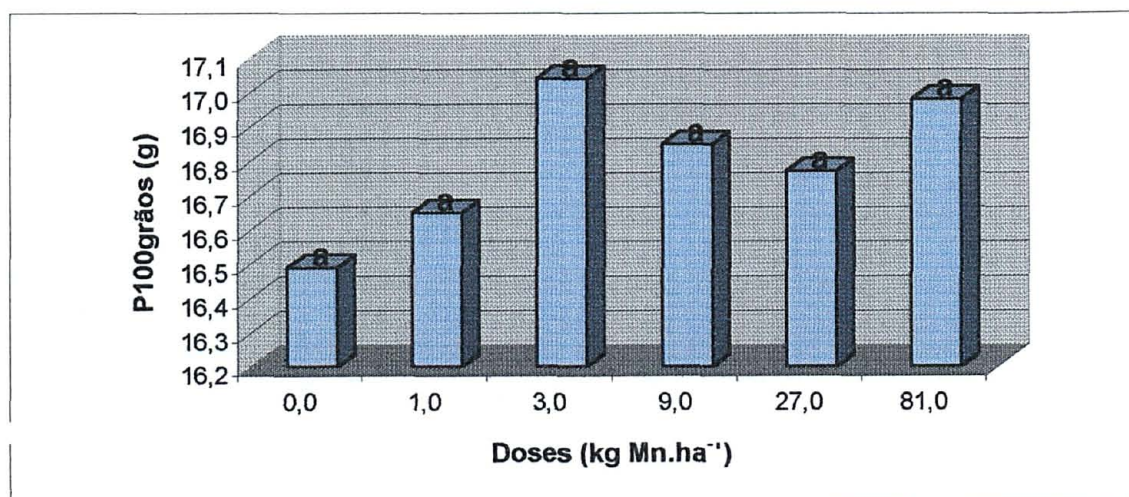
Assim como no experimento com Cu, não houve o aumento no teor de proteína com a aplicação de Mn, provavelmente devido à boa disponibilidade de Mn no solo. Quando comparado com o experimento com B, o Mn, assim como no experimento com Cu, apresentou valores maiores para o teor de proteína (entre 39,1 e 39,7 % - Figura 4.19), provavelmente devido à sua participação na fotossíntese, e sua participação na redutase do nitrito, formando NH_4^+ , que é incorporado nas proteínas (MALAVOLTA et al., 1997).

Figura 4.17. Produtividade de grãos de soja em função da aplicação de doses de Mn.



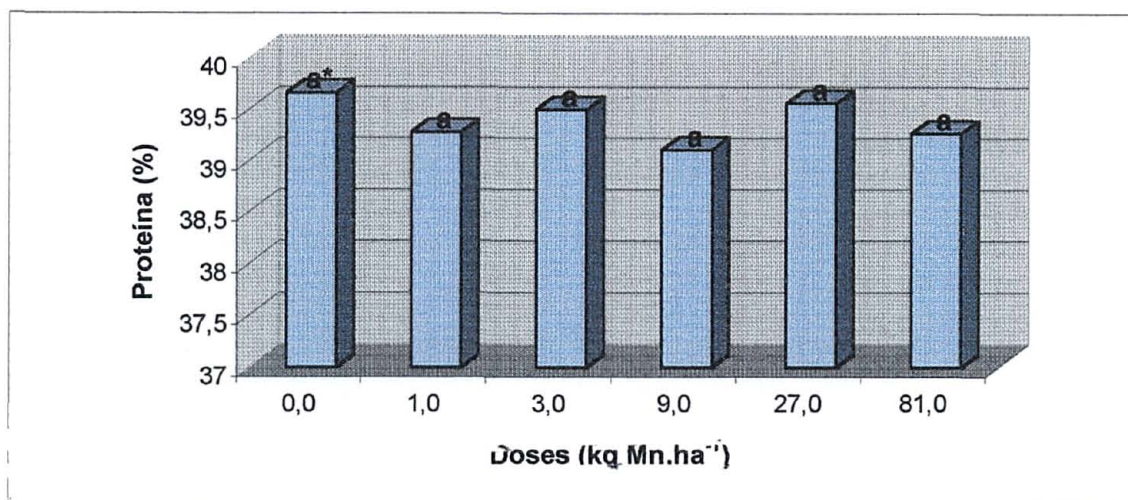
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.18. Peso de 100 grãos em função da aplicação de doses de Mn.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.19. Teor de proteína encontrado nos grãos, em função da aplicação de doses de Mn.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.3.2 Efeito da aplicação de doses de Mn nos teores foliares e nos grãos de soja

Nas Figuras 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23, pode-se observar que o efeito das doses de Mn, quando comparado com o efeito de Cu e de B, foi o que menos afetou os teores nas folhas e nos grãos (Anexos 9 e 10). Porém foi o único onde houve um efeito direto no aumento da produtividade da soja com a aplicação de Mn.

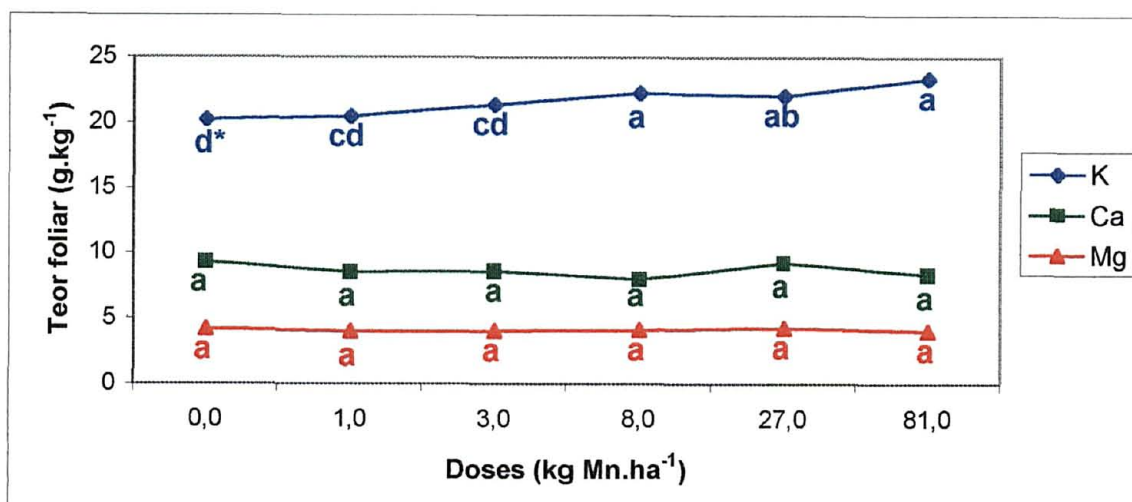
De acordo com as faixas de concentração de nutrientes, usadas para a interpretação dos níveis foliares de soja (EMBRAPA, 1999a), os teores foliares se encontram em níveis suficientes ou médios (Anexo 11). No entanto, os teores

foliares de Ca, Mg, Zn, Mn, Cu e B (Figuras 4.20 e 4.22) não foram influenciados pela aplicação de Mn. Somente os teores de K aumentaram conforme se aumentaram as doses de Mn, mesmo sendo esses dois elementos considerados de interação antagônica segundo FERREIRA & CRUZ (1991).

Já para os teores nos grãos, os únicos elementos afetados foram o Ca e o Zn (Figuras 4.21 e 4.23). FERREIRA & CRUZ (1991) classifica o Ca e o Mn como antagônicos, e MALAVOLTA et al. (1997), afirma que algumas vezes o excesso de Mn pode induzir a deficiência de outros nutrientes minerais, tais como Fe, Mg e Ca.

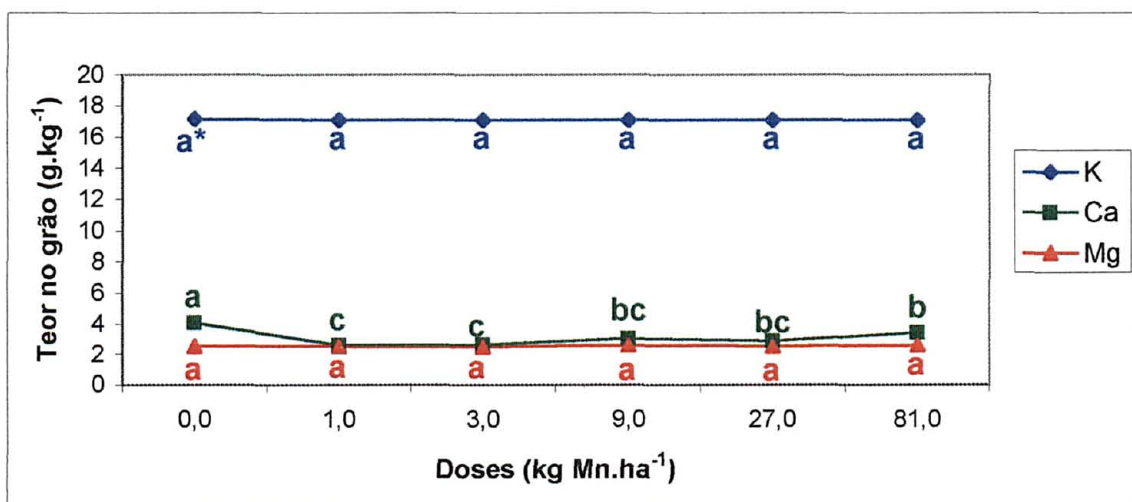
A aplicação de doses de Mn aumentou significativamente os teores de Zn nos grãos, com similar efeito nas folhas, porém sem ser significativo, apesar de haver uma tendência sutil no aumento dos teores.

Figura 4.20. Teores foliares de K, Ca e Mg em função da aplicação de doses de Mn.



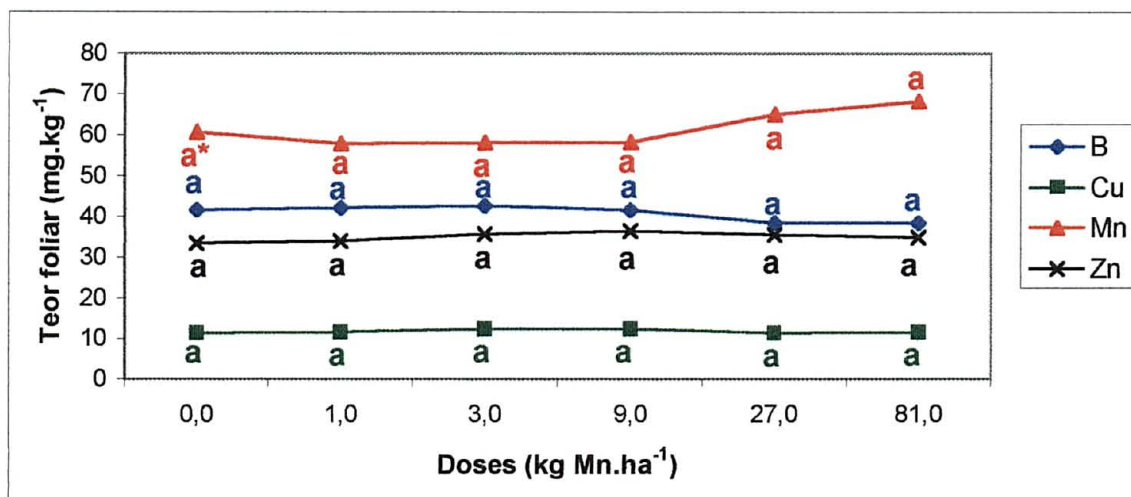
*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.21. Teores de K, Ca e Mg encontrados nos grãos em função da aplicação de doses Mn.



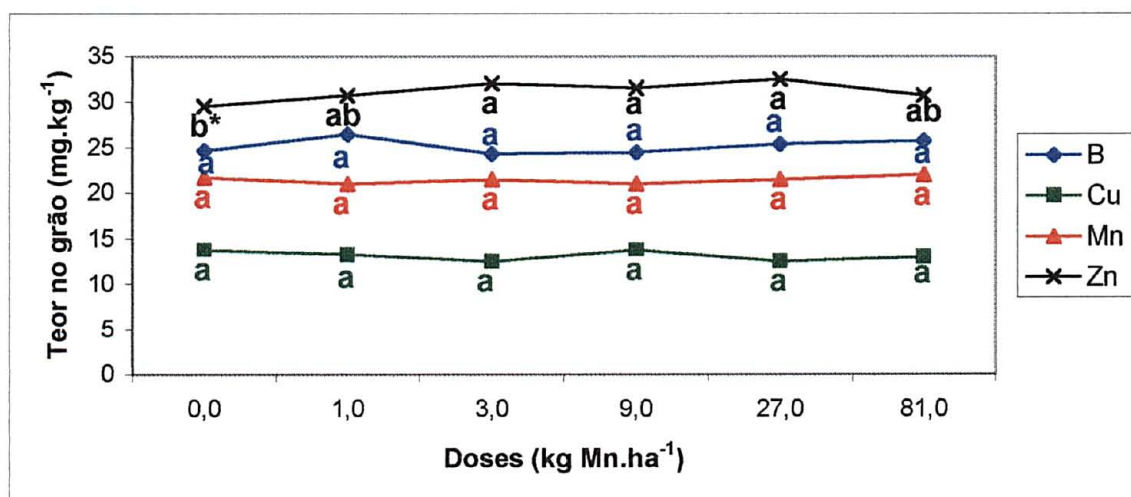
*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.22. Teores foliares de B, Cu, Mn e Zn em função da aplicação de doses de Mn.



*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Figura 4.23. Teores de B, Cu, Mn e Zn encontrados nos grãos em função da aplicação de doses crescentes de Mn.



*Médias seguidas de mesma letra e de mesma cor, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.3.3 Efeito da aplicação de doses de Mn sobre as características químicas do solo

Considerando-se a análise do solo, de amostras coletadas após a colheita da soja, verificou-se que até 9 kg/ha de Mn aplicados não houve aumento significativo do teor de Mn no solo, com níveis considerados altos ($>5,0 \text{ mg.dm}^{-3}$) conforme EMBRAPA (1999b - Tabela 2.3). Como houve aumento significativo na produtividade da soja, com a aplicação de doses de Mn (Figura 4.17), esses resultados indicam que o nível crítico preconizado ($>5,0 \text{ mg.dm}^{-3}$) pode estar abaixo do ideal e, caso resultados semelhantes forem conseguidos em trabalhos futuros, pode ser modificado (Tabela 4.5. e Fig. 4.24).

Os efeitos das doses de Mn sobre as demais características do solo, mesmo com alguma significância estatística, não correlacionaram com as doses aplicadas.

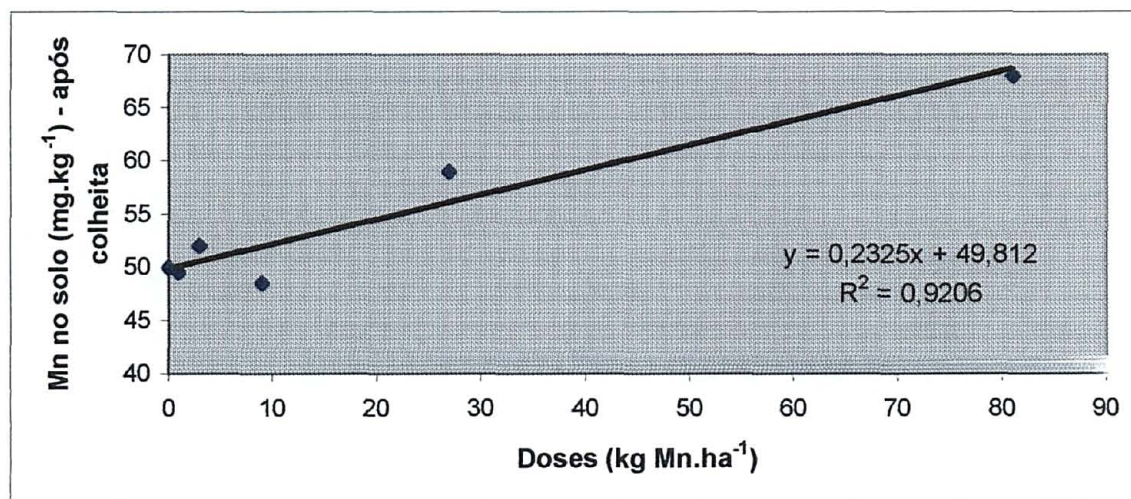
Tabela 4.5. Caracterização química: resultados analíticos relativos ao solo da área experimental após a colheita da soja, no experimento com Mn¹.

Doses Mn kg.ha ⁻¹	Ca	Mg	K	B mg.kg ⁻¹	Cu	Mn	Zn
0,0	3,03 a ²	2,06 a	0,21 ab	0,24 b	1,60 b	50,00 c	1,38 b
1,0	2,72 ab	1,77 a	0,20 ab	0,28 ab	1,73 b	49,50 c	1,45 b
3,0	2,80 ab	1,78 a	0,20 ab	0,38 a	2,05 a	52,00 c	2,53 a
9,0	2,50 b	1,70 a	0,15 b	0,22 b	1,78 b	48,50 c	1,25 b
27,0	2,60 ab	1,83 a	0,16 b	0,17 b	1,65 b	59,00 b	1,43 b
81,0	2,93 ab	1,91 a	0,28 a	0,19 b	1,63 b	68,00 a	1,30 b

¹ Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solo e de Tecido Vegetal da Embrapa Soja. Londrina, PR.

² Na coluna, médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

Figura 4.16. Efeito da aplicação de doses de Mn sobre o teor de Mn no solo.



4.3.4 Correlações

Na Tabela 4.6 são encontradas as correlações das principais variáveis do experimento com Mn (Anexo 14), onde observa-se correlações positivas entre os teores foliares de Ca, teor no grão de K e no solo de Mn, com o teor de proteína, enquanto que o teor de Mg no grão correlacionou-se negativamente. Com relação à produção, houve correlação negativa com os teores de K e de Ca no grão.

Tabela 4.6. Resumo das correlações das principais variáveis do experimento com Mn.

Experimento com Mn				
Variável	Proteína	P100grãos	Produção	Doses
K-folha	-0,48	0,72*	0,34	0,84**
Ca-folha	0,95** ¹	-0,53	-0,28	-0,19
Mg-folha	0,52	-0,44	-0,24	-0,05
Zn-folha	-0,47	0,74*	0,25	0,13
Mn-folha	0,10	0,21	0,19	0,91**
Cu-folha	-0,50	0,64*	-0,06	-0,24
B-folha	-0,07	-0,17	-0,36	0,81**
K-grão	0,62*	-0,73*	-0,84**	-0,31
Ca-grão	0,35	-0,47	-0,76*	0,20
Mg-grão	-0,71*	0,14	0,11	0,60*
Zn-grão	-0,12	0,62*	0,57	0,04
Mn-grão	0,49	0,15	-0,37	0,64*
Mn-solo	0,96**	0,01	0,45	0,31
Cu-grão	-0,31	-0,58	-0,48	-0,26
B-grão	0,32	-0,23	-0,21	0,72*
Proteína	-	-0,38	-0,45	-0,25
P100grãos	-0,38	-	0,30	0,47
Produção	-0,45	0,30	-	0,29

* 5%

** 1%

5 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos e nas condições em que foi conduzido o trabalho, pode-se observar que:

1. Os teores iniciais de B e Cu no solo em estudo, foram suficientes, para obtenção de produtividades máximas de soja;
2. A produtividade tendeu a diminuir, com a aplicação de doses de B e Cu;
3. Mesmo com os teores de Mn no solo acima do nível crítico preconizado, houve resposta das doses de Mn sobre a produtividade;
4. Houve pouco efeito das doses de B, Cu e Mn, sobre os teores de macro e micronutrientes nas folhas e nos grãos da soja, e;
5. Os teores dos nutrientes no solo, só foram afetados quando aplicaram-se as doses respectivas de B, Cu e Mn.

Portanto, pode-se concluir que no experimento com B, como houve tendência de diminuição na produtividade da soja, com a aplicação de B, esses resultados indicam que o nível crítico preconizado pode ser modificado, caso resultados semelhantes forem conseguidos em trabalhos futuros.

No experimento com Cu, como também houve tendência de diminuição na produtividade da soja, com a aplicação de Cu, esses resultados indicam que aplicações de Cu, quando os teores estão acima do nível crítico preconizado, podem causar problemas de toxicidade.

E no experimento com Mn, como houve aumento significativo na produtividade, com a aplicação de Mn, esses resultados indicam que o nível crítico preconizado pode estar abaixo do ideal e, caso resultados semelhantes forem conseguidos em trabalhos futuros, pode ser modificado.

ANEXO

ANEXO 1. Análise química do solo da área experimental, antes da instalação do experimento.

Prof. cm	pH CaCl ₂	H+Al ⁺³	Al ⁺³	Ca ⁺² cmol _c .dm ⁻³	Mg ⁺²	K	P mg.dm ⁻³	C g.dm ⁻³
Gleba 1								
0-5	4,8	6,21	0,3	2,4	1,6	0,44	5,4	24
5-10	4,8	5,76	0,3	2,5	1,5	0,37	5,4	24
10-20	5,1	4,96	0,0	3,0	2,1	0,24	3,8	24
20-40	4,8	5,76	0,3	1,8	1,8	0,14	0,9	17
40-60	4,8	4,96	0,3	1,5	1,5	0,12	0,6	15
Gleba 2								
0-5	5,3	4,61	0,0	3,7	3,0	0,44	5,1	27
5-10	5,3	4,61	0,0	3,5	2,6	0,40	5,1	26
10-20	5,4	4,28	0,0	3,2	2,6	0,27	4,0	23
20-40	4,8	6,21	0,3	1,9	1,9	0,15	1,8	20
40-60	4,8	4,96	0,3	1,4	1,1	0,10	0,9	17
Gleba 3								
0-5	5,0	4,96	0,0	2,7	2,0	0,44	3,4	27
5-10	5,0	4,96	0,0	2,8	2,2	0,33	0,9	23
10-20	5,2	4,61	0,0	2,8	2,2	0,25	0,6	23
20-40	4,8	4,61	0,3	1,4	1,4	0,14	0,6	17
40-60	4,8	3,97	0,3	1,3	1,0	0,10	0,6	14
Gleba 4								
0-5	5,0	5,35	0,0	3,0	2,1	0,48	4,8	23
5-10	4,9	5,35	0,2	2,7	1,7	0,44	4,8	23
10-20	4,9	5,35	0,2	2,7	1,7	0,36	3,1	23
20-40	4,5	6,21	0,7	1,4	1,4	0,24	1,5	20
40-60	4,6	6,21	0,5	1,4	1,4	0,29	4,8	16

ANEXO 2. Análise física do solo da área experimental, antes da instalação do experimento

Prof . cm	Areia.....g .kg ⁻¹	Silte	Argila
Gleba 1			
0-5	108	172	720
5-10	108	192	700
10-20	105	175	720
20-40	99	141	760
40-60	98	82	820
Gleba 2			
0-5	11	130	760
5-10	76	164	760
10-20	105	175	720
20-40	103	137	760
40-60	105	75	820
Gleba 3			
0-5	118	142	740
5-10	119	201	680
10-20	108	192	700
20-40	106	99	740
40-60	101	187	800
Gleba 4			
0-5	113	174	700
5-10	106	174	720
10-20	101	199	700
20-40	100	140	760
40-60	95	125	780

Anexo 3. Índice pluviométrico mensal da Fazenda Capão Grande, durante os anos de 1998 a 1999

Meses	Ano	
	1998	1999
	.....mm.....	
Janeiro	263,5	239,5
Fevereiro	267,0	196,5
Março	387,5	264,0
Abril	263,5	123,5
Maio	72,0	76,0
Junho	104,0	184,0
Julho	152,5	123,5
Agosto	236,0	5,5
Setembro	397,0	136,0
Outubro	285,0	93,0
Novembro	32,0	97,0
Dezembro	180,0	138,0
Total	2.640,0	1.676,5
Média mensal	220,0	139,7
Média diária	7,23	4,59

Anexo 4. Produtividade de grãos, Peso de 100 grãos e Teor de proteína em função da aplicação de B, Cu e Mn.

Experimento com B			
Tratamento kg B.ha ⁻¹	Grãos kg.ha ⁻¹	Grãos gP100	Grãos % Proteína
0,0	3.266 a	16,63 a	37,71 a
0,1	3.075 a	16,57 a	39,10 a
0,3	3.124 a	16,39 a	39,38 a
0,9	2.896 a	16,63 a	38,25 a
2,7	3.011 a	16,62 a	38,31 a
8,1	2.977 a	16,47 a	37,36 a
<i>Média</i>	3.058	16,55	38,35
<i>CV (%)</i>	6,92	2,48	3,04
Experimento com Cu			
Tratamento kg Cu.ha ⁻¹	Grãos kg.ha ⁻¹	Grãos gP100	Grãos % Proteína
0,0	3.094 a	16,54 a	39,60 a
0,3	2.830 a	16,35 a	39,28 a
0,9	2.934 a	16,29 a	39,21 a
2,7	2.745 a	16,62 a	39,16 a
8,1	2.774 a	16,45 a	40,05 a
24,3	2.736 a	16,52 a	39,63 a
<i>Média</i>	2.852	16,46	39,49
<i>CV (%)</i>	13,12	2,27	3,04
Experimento com Mn			
Tratamento kKg Mn.ha ⁻¹	Grãos kg.ha ⁻¹	Grãos gP100	Grãos % Proteína
0,0	2.679 b	16,49 a	39,66 a
1,0	3.121 a	16,65 a	39,28 a
3,0	2.895 ab	17,04 a	39,50 a
9,0	2.927 ab	16,85 a	39,11 a
27,0	3.080 a	16,77 a	39,56 a
81,0	2.997 a	16,98 a	39,27 a
<i>Média</i>	2.950	16,79	39,40
<i>CV (%)</i>	6,00	1,81	1,98

Anexo 5. Teores foliares em função da aplicação de B.

Doses kg B.ha ⁻¹	Macronutrientes g.kg ⁻¹			Micronutrientes mg.kg ⁻¹			
	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B
0,0	22,95 ab	8,55 b	4,23 a	36,00 a	59,25 ab	12,75 a	41,58 b
0,1	24,08 a	8,78 b	4,28 a	35,25 a	63,00 ab	13,00 a	40,98 b
0,3	22,28 b	9,48 ab	4,48 a	34,75 a	63,75 a	12,50 a	44,08 b
0,9	22,95 ab	9,10 ab	4,18 a	33,00 a	58,87 ab	13,25 a	44,08 b
2,7	22,73 ab	10,15 a	4,48 a	33,00 a	61,37 ab	13,25 a	44,68 b
8,1	19,35 c	9,20 ab	4,53 a	32,75 a	53,65 b	12,75 a	52,02 a
<i>Média</i>	22,39	9,21	4,36	34,12	59,98	12,92	44,57
<i>CV%</i>	4,12	7,21	5,34	7,60	6,29	7,52	6,16

* Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Anexo 6. Teores nos grãos em função da aplicação de B.

Doses kg B.ha ⁻¹	Macronutrientes g.kg ⁻¹			Micronutrientes mg.kg ⁻¹			
	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B
0,0	17,78 a	2,13 b	2,48 a	31,50 a	20,75 a	13,50 a	18,80 a
0,1	18,23 a	2,08 b	2,48 a	31,50 a	20,75 a	12,75 a	23,10 a
0,3	18,00 a	2,35 b	2,40 a	31,50 a	20,50 a	12,50 a	23,28 a
0,9	18,98 a	2,53 b	2,48 a	29,50 a	20,50 a	13,00 a	25,45 a
2,7	18,98 a	2,65 b	2,45 a	30,75 a	20,50 a	13,25 a	27,10 a
8,1	18,23 a	3,28 a	2,48 a	31,00 a	20,25 a	13,75 a	29,80 a
<i>Média</i>	18,37	2,50	2,46	30,96	20,54	13,12	24,59
<i>CV%</i>	3,98	13,96	2,14	4,67	3,02	6,26	

* Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Anexo 7. Teores foliares em função da aplicação de Cu.

Doses kg Cu.ha ⁻¹	Macronutrientes g.kg ⁻¹			Micronutrientes mg.kg ⁻¹			
	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B
0,0	21,83 a	9,10 a	4,30 a	35,75 ab	58,25 a	12,75 a	39,54 a
0,3	21,15 a	8,30 a	4,10 a	37,50 a	56,11 a	11,75 bc	37,49 a
0,9	20,48 a	9,70 a	4,45 a	36,50 ab	63,00 a	12,50 ab	41,59 a
2,7	21,60 a	9,13 a	4,10 a	33,00 b	56,75 a	11,50 c	39,68 a
8,1	22,50 a	9,13 a	4,28 a	33,50 b	55,75 a	11,50 c	40,78 a
24,3	21,60 a	9,48 a	4,18 a	33,75 ab	56,50 a	12,75 a	42,73 a
<i>Média</i>	21,53	9,14	4,23	35,00	57,73	12,12	40,30
<i>CV%</i>	4,09	9,47	5,83	6,82	9,07	4,82	7,94

* Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Anexo 8. Teores nos grãos em função da aplicação de Cu.

Doses kg Cu.ha ⁻¹	Macronutrientes g.kg ⁻¹			Micronutrientes mg.kg ⁻¹			
	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B
0,0	15,30 b	2,73 b	2,40 c	29,75 a	20,50 a	13,25 b	27,48 a
0,3	15,30 b	2,70 b	2,53 b	31,00 a	20,50 a	14,00 ab	26,65 a
0,9	13,73 c	2,68 b	2,58 ab	31,00 a	21,75 a	14,25 a	28,05 a
2,7	17,54 a	3,33 ab	2,65 a	29,00 a	21,25 a	14,00 ab	27,53 a
8,1	17,78 a	3,60 a	2,58 ab	30,00 a	21,50 a	14,50 a	25,13 a
24,3	17,78 a	3,63 a	2,60 ab	30,75 a	20,25 a	14,25 a	25,28 a
<i>Média</i>	16,24	3,11	2,56	30,25	20,96	14,04	26,69
<i>CV%</i>	3,13	9,47	5,83	6,82	9,07	4,82	

* Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Anexo 9. Teores foliares em função da aplicação de Mn.

Doses kg Mn.ha ⁻¹	Macronutrientes g.kg ⁻¹			Micronutrientes mg.kg ⁻¹			
	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B
0,0	20,24 d	9,31 a	4,23 a	33,50 a	60,75 a	11,50 a	41,70 a
1,0	20,48 cd	8,53 a	4,03 a	34,00 a	58,00 a	11,75 a	42,20 a
3,0	21,38 cd	8,65 a	4,05 a	35,75 a	58,25 a	12,50 a	42,63 a
9,0	22,28 a	7,98 a	4,15 a	36,50 a	58,45 a	12,50 a	41,80 a
27,0	22,05 ab	9,28 a	4,30 a	35,50 a	65,02 a	11,50 a	38,50 a
81,0	23,40 a	8,38 a	4,08 a	35,00 a	68,25 a	11,75 a	38,65 a
<i>Média</i>	21,64	8,69	4,14	35,04	61,45	11,92	40,91
<i>CV%</i>	4,70	8,69	4,24	6,22	15,16	7,29	6,42

* Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Anexo 10. Teores nos grãos em função da aplicação de Mn.

Doses kg Mn.ha ⁻¹	Macronutrientes g.kg ⁻¹			Micronutrientes mg.kg ⁻¹			
	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B
0,0	17,18 a	4,08 a	2,53 a	29,50 b	21,75 a	13,75 a	24,70 a
1,0	17,10 a	2,58 c	2,53 a	30,75 ab	21,00 a	13,25 a	26,50 a
3,0	17,10 a	2,63 c	2,50 a	32,00 a	21,50 a	12,50 a	24,38 a
9,0	17,10 a	3,05 bc	2,58 a	31,50 a	21,00 a	13,75 a	24,50 a
27,0	17,10 a	2,88 bc	2,53 a	32,50 a	21,50 a	12,50 a	25,43 a
81,0	17,10 a	3,43 b	2,58 a	30,75 ab	22,00 a	13,00 a	25,75 a
<i>Média</i>	17,11	3,11	2,54	31,17	21,46	13,12	25,21
<i>CV%</i>	2,15	11,41	2,11	3,90	4,50	7,13	

* Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Anexo 11. Concentrações de nutrientes usadas para a interpretação dos resultados de análises de folhas de soja do terço superior das plantas no início do florescimento (EMBRAPA, 1999a).

Elemento	Deficiente ou muito baixo	Baixo	Suficiente ou médio	Alto	Excessivo ou muito alto
g.kg⁻¹					
N	< 32,5	32,5 – 45,0	45,1 – 55,0	55,1 – 70,0	> 70,0
P	< 1,6	1,6 – 2,5	2,6 – 5,0	5,1 – 8,0	> 8,0
K	< 12,5	12,5 – 17,0	17,1 – 25,0	25,1 – 27,5	> 27,5
Ca	< 2,0	2,0 – 3,5	3,6 – 20,0	20,1 – 30,0	> 30,0
Mg	< 1,0	1,0 – 2,5	2,6 – 10,0	10,1 – 15,0	> 15,0
S	< 11,5	1,5 – 2,0	2,1 – 4,0	> 4,0	-
mg.kg⁻¹					
Mn	< 15	15 - 20	21 - 100	101 - 250	> 250
Fe	< 30	30 - 50	51 - 350	351 - 500	> 500
B	< 10	10 - 20	21 - 55	56 - 80	> 80
Cu	< 5	5 - 9	10 - 30	31 - 50	> 50
Zn	< 11	11 - 20	21 - 50	51 - 75	> 75
Mo	< 0,5	0,5 – 0,9	1,0 – 5,0	5,1 - 10	> 10

Anexo 12. Correlações das principais variáveis do experimento com B.

Variável	Folha							Grãos							Proteína	P100grãos	Produção	Doses
	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu						
K-folha	-0,19	-0,66*	0,54	0,80*	0,37	-0,97**	0,11	-0,91**	-0,01	0,02	0,88**	-0,61*	0,60*	0,51	0,26	-0,92**		
Ca-folha		0,67	-0,63*	0,16	0,28	0,31	0,60*	0,41	0,54	-0,22	-0,51	-0,10	0,16	-0,17	-0,42	0,27		
Mg-folha			-0,41	-0,15	-0,37	0,67*	-0,04	0,63*	0,52	0,33	-0,67*	0,14	-0,01	-0,67*	-0,11	0,65*		
Zn-folha				0,50	-0,48	-0,72*	-0,77*	-0,83**	-0,07	0,70*	0,84**	-0,30	0,34	0,02	0,89**	-0,68*		
Mn-folha					-0,01	-0,79*	-0,04	-0,79*	-0,58	0,30	0,63*	-0,86**	0,91**	-0,05	0,33	-0,82**		
Cu-folha						-0,16	0,88**	0,03	0,47	-0,70*	0,07	0,09	-0,12	0,78*	-0,60*	-0,06		
B-folha							0,12	0,98**	0,06	-0,18	-0,94**	0,57	-0,56	-0,44	-0,49	0,96**		
K-grão								0,30	0,13	-0,82**	-0,31	-0,02	-0,03	0,44	-0,82**	0,12		
Ca-grão									0,11	-0,32	-0,95**	0,60*	-0,60*	-0,29	-0,60*	0,96**		
Mg-grão										-0,29	0,15	0,61*	-0,64*	0,67*	-0,18	0,23		
Zn-grão											0,35	-0,09	0,24	-0,43	0,80*	-0,11		
Mn-grão												-0,36	0,38	0,47	0,63*	-0,85**		
Cu-grão													-0,98**	0,30	-0,02	0,69*		
B-grão													-0,28	-0,24	-0,82**	0,83**		
Proteína														-0,34	-0,09	0,64*		
P100grãos															-0,05	-0,28		
Produção																-0,45		

Anexo 13. Correlações das principais variáveis do experimento com Cu.

Variável	Folha							Grãos							Proteína	P100grãos	Produção	Doses
	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu						
K-folha	-0,16	-0,27	-0,64*	-0,74*	-0,33	0,01	0,76*	0,66*	-0,10	-0,56	-0,14	0,01	0,82**	0,60*	-0,20	0,28		
Ca-folha		0,66*	-0,38	0,60*	0,50	0,91**	-0,02	0,26	0,26	-0,01	0,40	0,24	0,07	0,04	0,05	0,37		
Mg-folha			0,24	0,81**	0,47	0,47	-0,58	-0,31	-0,27	0,29	0,54	0,05	0,16	-0,50	0,57	-0,19		
Zn-folha				0,43	0,27	-0,49	-0,87**	-0,90**	-0,54	0,66*	-0,14	-0,32	-0,39	-0,75*	0,57	-0,53		
Mn-folha					0,48	0,31	-0,79*	-0,58	-0,09	0,32	0,50	-0,06	-0,44	-0,53	0,53	-0,34		
Cu-folha						0,48	-0,38	-0,26	-0,48	0,38	-0,41	-0,41	-0,01	-0,08	0,55	0,30		
B-folha							0,24	0,54	0,36	0,15	0,18	0,44	0,31	0,06	-0,21	0,71*		
K-grão								0,94**	0,46	-0,49	-0,19	0,34	0,50	0,70*	-0,72	0,63*		
Ca-grão									0,58	-0,31	-0,01	0,56	0,56	0,52	-0,75*	0,77		
Mg-grão										-0,07	0,42	0,79*	-0,20	0,07	-0,87	0,37		
Zn-grão											-0,15	0,32	-0,06	-0,84	0,03	0,20		
Mn-grão												0,48	-0,06	-0,32	-0,06	-0,39		
Cu-grão													0,22	-0,35	-0,76*	0,43		
B-grão													0,32	0,24	-0,24	-0,39		
Proteína														0,14	-0,07	0,42		
P100grãos															-0,18	0,27		
Produção																-0,56		

Anexo 14. Correlações das principais variáveis do experimento com Mn.

Variável	Folha							Grãos							P100grãos	Produção	Doses
	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	B	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Cu	Proteína				
K-folha	-0,46	-0,01	0,63*	0,69*	0,19	-0,68*	-0,58	0,06	0,67*	0,41	0,33	-0,28	-0,48	0,72*	0,34	0,84**	
Ca-folha		0,65*	-0,54	0,21	-0,71*	-0,24	0,58	0,35	-0,60*	-0,12	0,42	-0,26	0,95**	-0,53	-0,28	-0,19	
Mg-folha			0,01	0,32	-0,49	-0,47	0,41	0,43	0,01	0,11	0,20	0,04	0,52	-0,44	-0,24	-0,05	
Zn-folha				-0,03	0,73*	-0,10	-0,67*	-0,47	0,28	0,79*	-0,27	-0,29	-0,47	0,74*	0,25	0,13	
Mn-folha					-0,54	-0,95**	-0,08	0,35	0,42	0,04	0,76*	-0,32	0,10	0,21	0,19	0,91**	
Cu-folha						0,55	-0,44	-0,44	0,04	0,39	-0,42	0,00	-0,50	0,64*	-0,06	-0,24	
B-folha							0,21	-0,18	-0,41	-0,24	-0,55	0,37	-0,07	-0,17	-0,36	0,81**	
K-grão								0,84**	-0,18	-0,76*	0,36	0,54	0,62*	-0,73*	-0,84**	-0,31	
Ca-grão									0,30	-0,74*	0,61*	0,56	0,35	-0,47	-0,76*	0,20	
Mg-grão										-0,17	0,05	0,49	-0,71*	0,14	0,11	0,60*	
Zn-grão											-0,27	-0,73*	-0,12	0,62*	0,57	0,04	
Mn-grão												-0,25	0,49	0,15	-0,37	0,64*	
Cu-grão													-0,31	-0,58	-0,48	-0,26	
B-grão													0,32	-0,23	-0,21	0,72*	
Proteína														-0,38	-0,45	-0,25	
P100grãos															0,30	0,47	
Produção																0,29	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; RAIJ, B.V.; TANAKA, R.T. Correção de Deficiência de Mn em Plantas de Soja Cultivadas em Vaso. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, UFV, 1995. p. 1186-1187.
- ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO AGROPECUÁRIA DO PARANÁ. Curitiba, PR: SEAB/DERAL; v. 26, n. 4, p. 23, abril/ 2000.
- ARANTES, N. E; SOUZA, P. (Ed.). Simpósio sobre Cultura da Soja nos Cerrados. Piracicaba, SP: POTAFÓS, 1993. 535 p.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Plant Nutrient Efficiency: Towards the Second Paradigm. In: SIQUEIRA, J. O; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S. et al. (Ed.). Inter-relação Fertilidade, Biologia do Solo e Nutrição de Plantas. Viçosa, MG: SBCS, Lavras, MG: UFLA / DCS, 1999. p. 183-204.
- BARBOSA FILHO, M. P.; DYNIA, J. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Resposta ao Arroz de Sequeiro ao Zinco e ao Cobre com Efeito Residual para o Milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP, v. 14, n. 3, p. 333-338, set./dez. 1990.
- BATAGLIA, O. C. Micronutrientes: Disponibilidade e Interações. In: BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (Ed.). Enxofre e Micronutrientes na Agricultura Brasileira. Londrina, PR, EMBRAPA-CNPo/IAPAR/SBCS. 1988. p. 121-132.
- BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (Ed.). Enxofre e Micronutrientes na Agricultura Brasileira. Londrina, PR, EMBRAPA-CNPo/IAPAR/SBCS. 1988. 306 p.

BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F.; PALHANO, J. B.; SFREDO, G. J. Determinação Química do Manganês Absorvível Pela Soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA 3 (1984 : Campinas, SP). Anais. Londrina, PR: EMBRAPA-CNPSO, 1984. p. 879-887.

CÂMARA, G. M. S. Fenologia da Soja. Informações Agronômicas, Piracicaba, SP, n. 82, p. 1-6, junho 1998.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELO, Q. A. C. Diagnose Visual. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. da (Ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, SP: POTAFÓS / CNPq. 1991. 734 p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações Técnicas para a Cultura da Soja no Paraná 1999/2000. Londrina, PR: Embrapa Soja, 1999a. 236 p. (Documentos n. 131).

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações Técnicas para a Região Central do Brasil 1999/2000. Londrina, PR: Embrapa Soja, 1999b. 226 p. (Documentos n. 132, Embrapa Agropecuária Oeste n. 5).

EMBRAPA. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 1999c. 370 p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Recomendações Técnicas para a Cultura da Soja no Paraná 1998/99. Londrina, PR: Embrapa Soja, 1998. 201 p. (Documentos n. 119).

EMBRAPA - SNLCS. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. Boletim Técnico n. 27. Londrina, PR: SNLCS / SUDESUL / IAPAR. 1984. Tomo I. p. 1-171.

EMBRAPA – SNLCS. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, RJ. 1979. 271 p.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. da (Ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, SP: POTAFÓS / CNPq. 1991. 734 p.

FOWLER, J. A. P. Influência de Propriedades do Solo na Ocorrência do Mal do Pé do Trigo. Curitiba, PR, 1994. Dissertação de Mestrado – UFPR. 72 p.

FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. Toxidez de Manganês de um Solo Ácido na Simbiose Soja – Rhizobium. Pesquisa Agropecuária Brasileira – Série Agronomia. Rio de Janeiro, RJ, v. 6. p. 57-66, 1971.

GALRÃO, E. Z. Métodos de Aplicação de Cu e Avaliação da Disponibilidade para a Soja num Latossolo Vermelho-Amarelo Franco-argilo-arenoso Fase Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, SP, v. 23, n. 2, p. 265-272, abr./jun. 1999.

GALRÃO, E.Z. Níveis Críticos de Zinco em Latossolo Vermelho-Amarelo Argiloso sob Cerrado para a Soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, SP, v. 17, n. 1, p. 83-87, jan./abr. 1993.

HENNING, A. A.; CAMPO, R. J.; SFREDO, G. J. Tratamento com Fungicidas, Aplicação de Micronutrientes e Inoculação de Sementes de Soja. Informações Agronômicas, Piracicaba, SP, n. 82, p. 8-12, junho 1998.

JONES Jr, J. B. Plant Tissue Analysis for Micronutrients. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.) Micronutrients in Agriculture. Madison, WI: SSSA, 1972. p. 319-346.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, R. Guia de Fertilidade do Solo – Versão Multimídia. UFLA, ANDA, Potafós, 1999.

MAACK, R. Geografia Física do Estado do Paraná. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Paraná, UFPR e Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. 1968. 350 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas - Princípios e Aplicações. 2 ed. Piracicaba, SP: Potafós, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. São Paulo, SP: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARINHO, M. L. Respostas das Culturas aos Micronutrientes Ferro, Manganês e Cobre. In: BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (Ed.). Enxofre e Micronutrientes na Agricultura Brasileira. Londrina, PR, EMBRAPA-CNPq/IAPAR/SBCS. 1988. p. 239-264.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principles of Plant Nutrition. 4. ed. Worblaufen-Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1987. 687p.

MURAOKA, F.; NEPTUNE, A. M. L.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Avaliação da Disponibilidade de Zinco e de Manganês do Solo para Feijoeiro - I. Zinco. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 167-175, mai./ago. 1983a.

MURAOKA, F.; NEPTUNE, A. M. L.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Avaliação da Disponibilidade de Zinco e de Manganês do Solo para Feijoeiro - II. Manganês. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 177-182, mai./ago. 1983b.

- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; SEDIYAMA, T. Deficiência de Manganês em Plantas de Soja Cultivadas em Solos de Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, SP, v. 13, n. 2, p. 199-204, mai./ago. 1989.
- PAULA, M. B.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, F. D.; MESQUITA, H. A. Curva de Resposta e Avaliação de Extratores para Zinco Disponível em Solos Hidromórficos e Aluviais sob Arroz Inundado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP, v. 15, n. 1, p. 49-56, jan./abr. 1991.
- PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOOLER, D. C. Manual de Análise Química do Solo. Londrina, PR: Instituto Agronômico do Paraná, 1991. 33p.
- ROSOLEM, C. A. Nutrição Mineral e Adubação de Soja. Piracicaba, SP: Instituto da Potassa e do Fosfato, 1980. 80 p. (Boletim Técnico n. 6).
- SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F.; CASTRO, C. Resposta da Soja à Aplicação de Mo em Oito Solos do Brasil. Relatório Embrapa Soja da safra 1995/96. Londrina, PR, 1996.
- SFREDO, G. J.; PANIZZI, M. C. C. Importância na adubação e da Nutrição na Qualidade da Soja. In: SÁ, M. E.; BUZZETI, S. (Ed.). Importância da Adubação na Qualidade dos produtos Agrícolas. São Paulo, SP: Ícone, 1994. p. 257-288.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S. et al. (Ed.). Inter-relação Fertilidade, Biologia do Solo e Nutrição de Plantas. Viçosa, MG: SBCS, Lavras, MG: UFLA / DCS, 1999. 818 p.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. Soil Fertility and Fertilizers. 5. ed. New York: Hamilton Printing Company, 1993. 634 p.